N° d'enregistrement :
ORSAY
Série A N°
N° D'ordre
195

PARIJS

THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY

pour obtenir

LE ~~GRADE~~ DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

par

**J.-J. HERVÉ**
Ingénieur C N A M

# Influence des façons culturales sur la croissance et la tubérisation des pommes de terre

## (Solanum tuberosum L.)

volume principal

Soutenue le 26 Juin 1973 devant la Commission d'examen

MM. LEMÉE Président

MARTIN, DEMARLY } Examinateurs

LHOSTE Membre invité

Travail réalisé à INRA : Service d'Expérimentation et d'Information - VERSAILLES
Société PROCIDA - Centre de Recherche de Biologie Appliquée - MARSEILLE

N° d'enregistrement :

195

# THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ DES SCIENCES D'ORSAY

pour obtenir

LE ~~GRADE~~ titre DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

par

**J.-J. HERVÉ**

Ingénieur C N A M

# Influence des façons culturales sur la croissance et la tubérisation des pommes de terre

**(Solanum tuberosum L.)**

volume principal

Soutenue le 26 Juin 1973 devant la Commission d'examen

MM. LEMÉE Président

MARTIN, DEMARLY } Examinateurs

LHOSTE Membre invité

Travail réalisé à INRA : Service d'Expérimentation et d'Information - VERSAILLES
Société PROCIDA - Centre de Recherche de Biologie Appliquée - MARSEILLE

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

# Influence des façons culturales sur la croissance et la tubérisation des pommes de terre

## (Solanum tuberosum L.)

- TABLE DES MATIERES -

- o -


INTRODUCTION - page 1

CHAPITRE I - INFLUENCE des CONDITIONS ECOLOGIQUES sur la CROISSANCE et la TUBERISATION des POMMES de TERRE. page 3

1 - Le cycle végétatif de la pomme de terre page 3
2 - Influence de la température page 5
3 - Influence de la lumière page 5
4 - Influence de la longueur du jour page 6
5 - Différences variétales page 6
6 - Synthèse de la question page 7
7 - Rôle des substances de croissance sur la tubérisation page 10

CHAPITRE II - RESULTATS des ESSAIS DE PLEINS CHAMPS REALISES de 1964 à 1970 page 13

CHAPITRE III - ETUDE DE DIVERSES TECHNIQUES PERMETTANT UNE APPROCHE EXPLICATIVE DES RESULTATS OBSERVES DANS LES ESSAIS DE PLEINS CHAMPS page 22

- I - ETUDE de la CROISSANCE

1 - Généralités page 22
2 - Analyse morphologique quantitative de la pomme de terre page 25
3 - Détermination de la productivité en ce qui concerne la matière sèche page 26

a - Vitesse relative de croissance (RGR) page 29
b - Taux d'assimiliation nette (NAR) page 32
c - Durée d'activité de la surface foliaire (LAD) page 37
d - surface foliaire moyenne (LAR) page 37
e - Couverture foliaire (LAI) page 40

4 - Etude de la croissance sur l'essai de SAINT-GERMAIN I968

a - méthodologie et résultats obtenus page 43
b - discussion des résultats obtenus page 50

- II - ETUDE de l'EAU, du SOL et du SYSTEME RACINAIRE page 54

1 - Etude du sol et de l'eau

a - étude du sol essai ST-GERMAIN I968 page 55
b - étude du sol essai GRIGNON I97I page 58

2 - Etude des profils racinaires page 60
3 - Etude de la variation des températures dans le sol en fonction des techniques culturales page 62

- III- ETUDE de L'EVOLUTION des SUCRES dans les TUBERCULES en COURS de VEGETATION et à la RECOLTE page 69

- IV - CONCLUSION du CHAPITRE III page 76

CHAPITRE IV - ETUDE de MODELES THEORIQUES en SERRES et au PHYTOTRON page 77

- I - ESSAIS en SERRES page 77

1 - 1er essai page 77
2 - 2ème essai page 78
3 - 3ème essai page 80
4 - 4ème essai et 4 bis page 82
5 - Discussion sur les essais réalisés en serres page 84

- II - ESSAIS au PHYTOTRON page 86

1 - 1er essai page 86
2 - 2ème essai page 90
3 - 3ème essai page 123
4 - Discussion des essais au phytotron page 133

CHAPITRE V - DISCUSSION des TRAVAUX MENES de I964 à I972 sur L'INFLUENCE des FACONS CULTURALES sur la CROISSANCE et la TUBERISATION des POMMES de TERRE

A - DISCUSSION des RESULTATS de PLEINS CHAMPS page 134

1 - culture de primeurs page 135
2 - culture de plants page 137
3 - culture de consommation page 138

B - DISCUSSION des ESSAIS en CONDITIONS CONTROLEES page 138

CONCLUSION page 144

BIBLIOGRAPHIE page 146

-- O --

# INTRODUCTION

Dès 1959, les premières tentatives de désherbage chimique des pommes de terre furent expérimentées à la ferme de GRIGNON, mais ce n'est qu'en 1963 qu'une étude plus complète commença avec l'apparition de deux produits réellement sélectifs pour la pomme de terre : le linuron et le monolinuron.

La pomme de terre est, en effet, l'exemple type dans tous les manuels d'agriculture, d'une plante sarclée et de ce fait dite "nettoyante" d'où l'intérêt tardif de la profession agricole pour le désherbage chimique de cette culture.

En 1965, PEQUIGNOT préconise toujours les façons traditionnelles de la culture de la pomme de terre, à savoir : hersage-binage, buttage et sarclage. Toutefois, il est sans doute le premier, en France, à envisager une évolution des techniques grâce aux désherbants chimiques, lorsqu'il écrit : "Seules la mise au point du désherbage chimique et de nouvelles techniques culturales pourront modifier ultérieurement cette conception". Cette conception dont parle PEQUIGNOT est en fait la réduction du travail du sol grâce aux herbicides, mais, à son avis, un buttage restera sans doute obligatoire pour favoriser l'ameublissement du sol, l'assainissement des terres humides et l'arrachage mécanique.

Les premiers essais herbicides que nous avons réalisés et publiés en 1965 (MONOT, HERVE et coll.) nous ont amenés à nous poser un certain nombre de questions, dont la question fondamentale: "Est-il encore nécessaire de travailler le sol lorsque les adventices sont absentes ou éliminées par un traitement chimique?"

C'est pour répondre à cette question que les recherches qui font l'objet de ce mémoire ont été entreprises. Elles concernent l'influence des façons culturales sur la croissance et la tubérisation des pommes de terre et se sont attachées principalement à :

- l'étude aux champs de la croissance sur un plan quantitatif à l'aide des techniques statistiques appropriées;

- l'étude en serres et au phytotron de modèles théoriques cherchant à vérifier les hypothèses émises après les conclusions des essais de pleins champs.

C'est à la suite de cette double démarche, essais en conditions naturelles puis modèles en conditions artificielles, que nous tenterons de définir quelques hypothèses sur la tubérisation et de donner ensuite une nouvelle définition de la culture de la pomme de terre.

# CHAPITRE I

## INFLUENCE DES CONDITIONS ECOLOGIQUES SUR LA CROISSANCE ET LA TUBERISATION DES POMMES DE TERRE

### 1 - Le cycle végétatif de la pomme de terre

Le cycle végétatif de la pomme de terre a été décrit par de nombreux auteurs. Nous empruntons notre description à MADEC et PERENNEC (1959) qui le présentent de la manière suivante :

"Un tubercule germé est planté en terre. Ses germes se transforment en croissant au-dessus du sol en tiges feuillées. Les bourgeons axillaires aériens donnent des rameaux, les bourgeons souterrains, des stolons.

Au bout d'un certain temps, variable suivant les variétés dans un même milieu et suivant les conditions de milieu pour une même variété, les extrémités des stolons se renflent pour donner les ébauches de tubercules formés en un temps relativement court, souvent en moins d'une à deux semaines pour la plupart des variétés, dans les conditions normales du champ.

Il en résulte que tous les tubercules ont sensiblement le même âge, quelle que soit leur grosseur au moment de la récolte.

La courbe de croissance de l'ensemble des tubercules d'une plante a la forme classique d'une sigmoïde, le ralentissement se faisant à l'approche de la maturité, quand les fanes commencent à jaunir.

Quand la plante meurt, soit par maturité naturelle, soit par destruction artificielle, les tubercules se trouvent dans un état de repos végétatif pendant lequel, même placés dans des conditions optimales de température et d'humidité, leurs bourgeons sont incapables de croître pour produire des germes.

Quand, après une évolution physiologique interne, sur laquelle on sait très peu de choses, ce repos, dont la durée dépend essentiellement de la variété et semble relativement indifférente aux conditions de milieu, prend fin, la croissance des bourgeons

redevient possible si les conditions externes, de température notamment, sont favorables; et nous nous trouvons ramenés au point de départ du cycle, qui était le tubercule germé."

Cette description nous fait remarquer l'importance du problème variétal chez la pomme de terre ; dans le cas d'une même variété, l'influence des conditions de milieu sur l'initiation de la tubérisation et la croissance de la touffe est également marquée. Ce problème de la croissance a été particulièrement bien étudié par MILTHORPE (1966) qui considère trois phases dans le développement au champ de la pomme de terre :

1) un stade de pré-levée qui comprend l'installation du système radiculaire et l'initiation des ébauches selon le développement du germe à la plantation;

2) un stade où le développement du feuillage est prédominant;

3) un stade de croissance et de grossissement des tubercules avec continuité du développement du feuillage.

Cette description comme celle de MADEC et PERENNEC, nous conduit à étudier le problème des germes, car l'évolution de ceux-ci dépend en réalité du traitement qu'ils auront subi durant le stockage, donc du rôle du tubercule mère sur le devenir du futur germe. Cet aspect du problème a été spécialement travaillé par MADEC et PERENNEC qui, les premiers, ont montré les mécanismes d'action du tubercule mère sur l'évolution des germes. Le germe peut, en effet, comme une plante normale, parcourir tout le cycle végétatif, c'est-à-dire, formation des stolons, tubérisation et floraison en ne dépendant du point de vue nutrition que du tubercule mère.

SAVIC, CLAVER et MADEC ont appelé stade d'incubation le stade de tubérisation des germes et phase d'incubation la période s'écoulant entre le départ de la germination et la formation des ébauches de tubercules par le germe. MADEC (1948) a montré que les éléments déterminants du développement du germe sont situés dans le tubercule mère et non dans le germe lui-même, un égermage ne supprimant pas l'incubation. D'autre part, différentes expériences de greffage de bourgeons incubés sur tubercule jeune, c'est-à-dire physiologiquement jeune et vice-versa, confirmèrent cette théorie du rôle du tubercule mère et de son évolution interne. On aboutit à l'idée de la formation dans le tubercule mère d'un stimulus transmissible par greffe qui provoque la tubérisation des germes. La croissance des germes en poids et en longueur est une sigmoïde classique qui s'infléchit quand le stade d'incubation est atteint. MADEC a donc établi que la croissance et la tubérisation des germes sont bien la résultante d'une action due à l'évolution physiologique du tubercule mère et qu'il existe chez le germe un antagonisme fondamental entre la croissance et la tubérisation.

## 2 - Influence de la température

De très nombreux chercheurs ont étudié l'influence de la température sur la tubérisation et la croissance des pommes de terre. Des résultats très divergents ont été obtenus, ce qui est normal, les chercheurs ayant tous travaillé sur des plantes entières, donc avec des tubercules mères ayant reçu des incubations différentes. Toutefois, un certain nombre d'observations concordent :

- l'émergence est accélérée par les hautes températures (WENT - 1959 ; GREGORY - 1954-1965 ; BODLAENDER - 1966) dont l'optimum se situe à 18°C et aucune élongation ne se produit à 6° C(MILTHORPE, BODLAENDER);

- l'optimum de croissance des feuilles se situe en général à 12-14°C.Le rapport poids de feuilles sur poids de tiges diminue avec l'élévation de température;

- le nombre de tubercules est plus élevé à basse qu'à haute température (BORAH, MILTHORPE, BODLAENDER, GREGORY). En général, de plus gros tubercules sont formés à haute température sans dépasser néanmoins 20°C. L'optimum de température pour la tubérisation n'a pu être déterminé exactement de fait de l'influence du facteur lumière.

En résumé, on peut conclure que les hautes températures sont favorables à la croissance des tiges, mais défavorables à celle du feuillage et à la production des tubercules. Quelques auteurs ont étudié l'influence des alternances des températures diurne et nocturne. WENT, GREGORY, BODLAENDER ont trouvé que des températures nocturnes basses favorisent la croissance du feuillage plus que les jours courts, mais que la croissance des tiges est peu touchée. Sur la tubérisation, les résultats sont contradictoires. Par ailleurs, JONES (1920) a déterminé que l'optimum de température du sol pour la tubérisation se situait à 15-18°C. GREGORY trouve aussi des résultats similaires. Ces chercheurs et BODLAENDER arrivent à la conclusion que la température du sol agirait plus efficacement sur le grossissement des tubercules que la température de l'air.

## 3 - Influence de la lumière

L'influence de la lumière sur la croissance et le rendement des pommes de terre est déterminée par son intensité, sa nature et sa durée d'exposition. POHJAHKALLIO (1951) et BODLAENDER (1960) sont d'accord sur le fait qu'une diminution d'intensité lumineuse amène une diminution du poids de matière sèche totale de la plante, mais une élongation des tiges et une perte de poids importante sur les tubercules. Ainsi le rapport : hauteur des tiges/poids des

tubercules se trouve déplacé en faveur de la croissance des tiges; on observe alors une surface plus grande des folioles mais avec une plus faible épaisseur à 8.000 lux qu'à 16.000; par contre, à 3.000 lux les folioles peuvent présenter une surface plus petite.

Il n'a pas été signalé de différences variétales sur ce sujet. MINKLER (1961) ne trouve pas de différence dans l'assimilation du $CO_2$ entre 7 variétés; BODLAENDER arrive à la même conclusion à la suite de ses propres essais.

4 - Influence de la longueur du jour

Ici, les différents auteurs semblent d'accord en ce qui concerne les effets de la photopériode sur le développement végétatif. On considère en général que les jours courts accélèrent le développement de la pomme de terre; en effet, dans ces conditions, l'élongation des tiges se termine plus précocement, les tubercules sont initiés plus tôt et les plantes mûrissent plus vite qu'en jours longs. Le rapport : Poids de feuilles/Poids de tiges est plus élevé en jours courts. Par ailleurs, dans les stades de début de développement, le poids de tubercules est plus élevé en jours courts qu'en jours longs. Enfin, il est constaté que température et intensité lumineuse sont à prendre en considération pour déterminer la longueur critique de jour à laquelle réagit une variété. Une revue bibliographique, rapportée par MADEC et PERENNEC (1962), indique qu'une température basse inférieure à 15°C peut annuler, dans une large mesure, l'effet d'un jour long, tandis qu'une température élevée accroît les différences de croissance entre les plantes de jour long et les plantes de jour court.

5 - Différences variétales

KOPETZ et STEINECK (1954) ont classé les variétés selon leur réaction à la longueur du jour et ils suggèrent que toutes les variétés ont besoin de jours courts pour tubériser. Pour ces auteurs, sous la longueur critique de jour caractéristique d'une variété, c'est-à-dire la limite entre jours courts et longs pour cette variété, la croissance des tubercules est inhibée et un développement excessif du feuillage se produit; en dessous de ce seuil, la tubérisation est stimulée et la croissance inhibée; ainsi, une variété dont la longueur critique est de 12 heures, tubérisera mal en jours de plus de 12 heures. En fait, quelle que soit la variété, la tubérisation ne se fera bien qu'en dessous de la longueur critique. Le terme "court" signifie donc plus court que la longueur critique. En général, les variétés précoces semblent avoir une longueur critique plus élevée que les tardives.

6 - Synthèse de la question

Il apparaît des discussions qui précèdent que la température, l'intensité lumineuse et la longueur du jour montrent des interactions qui influent sur le rendement des pommes de terre. En résumé, nous pouvons dire que les hautes températures et les jours longs favorisent la croissance des organes aériens et, qu'au contraire, des basses températures et des jours courts favorisent le développement des organes souterrains, spécialement les tubercules. Il en est de même des fortes intensités lumineuses. La récolte finale en tubercules sera donc déterminée par l'action combinée des facteurs climatiques envisagés, du tubercule mère et de la surface foliaire.

Une étude synthétique de la croissance et de la tubérisation n'a jamais été réalisée totalement car MILTHROPE, BODLAENDER, BURTON, KOPETZ, CHAPMAN ont toujours laissé de côté un des facteurs importants. C'est, sans doute, MADEC et PERENNEC (1962) qui ont fait la meilleure approche de ce difficile problème de la tubérisation et de la croissance. En effet, après les travaux de MADEC sur le rôle du tubercule mère et de MADEC et PERENNEC sur l'évolution du germe, ces deux chercheurs constatent que les divergences de vues qui existaient sur l'action des facteurs climatiques étaient dues au fait que presque toutes les études avaient négligé le rôle du tubercule mère.

Afin d'éviter de tomber dans l'excès contraire et de ramener le problème de la tubérisation au seul rôle du tubercule mère, ces deux chercheurs ont travaillé sur semis et sur boutures dans le but de soustraire les plantes à l'action du tubercule mère et de connaître ainsi leurs lois de croissance. L'idée première d'utiliser les boutures revient à GREGORY (1956) suivi par CHAPMAN (1958); à la suite de ses travaux, GREGORY a montré que le feuillage synthétise, sous des conditions de milieu inductives (jours courts, température nocturne assez basse) un facteur inducteur de la tubérisation, transmissible par greffe; il précise en outre le rôle important du saccharose dans le phénomène de tubérisation, mais il pense que ce sucre est une condition nécessaire mais qu'il n'est pas le facteur déterminant. CHAPMAN a confirmé les résultats de GREGORY et précisé qu'il semble exister une relation quantitative entre la durée de l'induction et la quantité de facteurs de tubérisation formés; les expériences de greffage confirment bien que le stimulus d'induction est un facteur transmissible et qu'il existe à travers toute la plante. Il précise enfin le nombre de cycles de jours courts (14 de 9 heures) nécessaire pour déclencher la tubérisation. MADEC et PERENNEC ont cherché à remplacer, par greffage, la partie aérienne de la pomme de terre par un feuillage non inducteur de la tubérisation. Les résultats confirmèrent les travaux de GREGORY : 15 jours après le greffage,

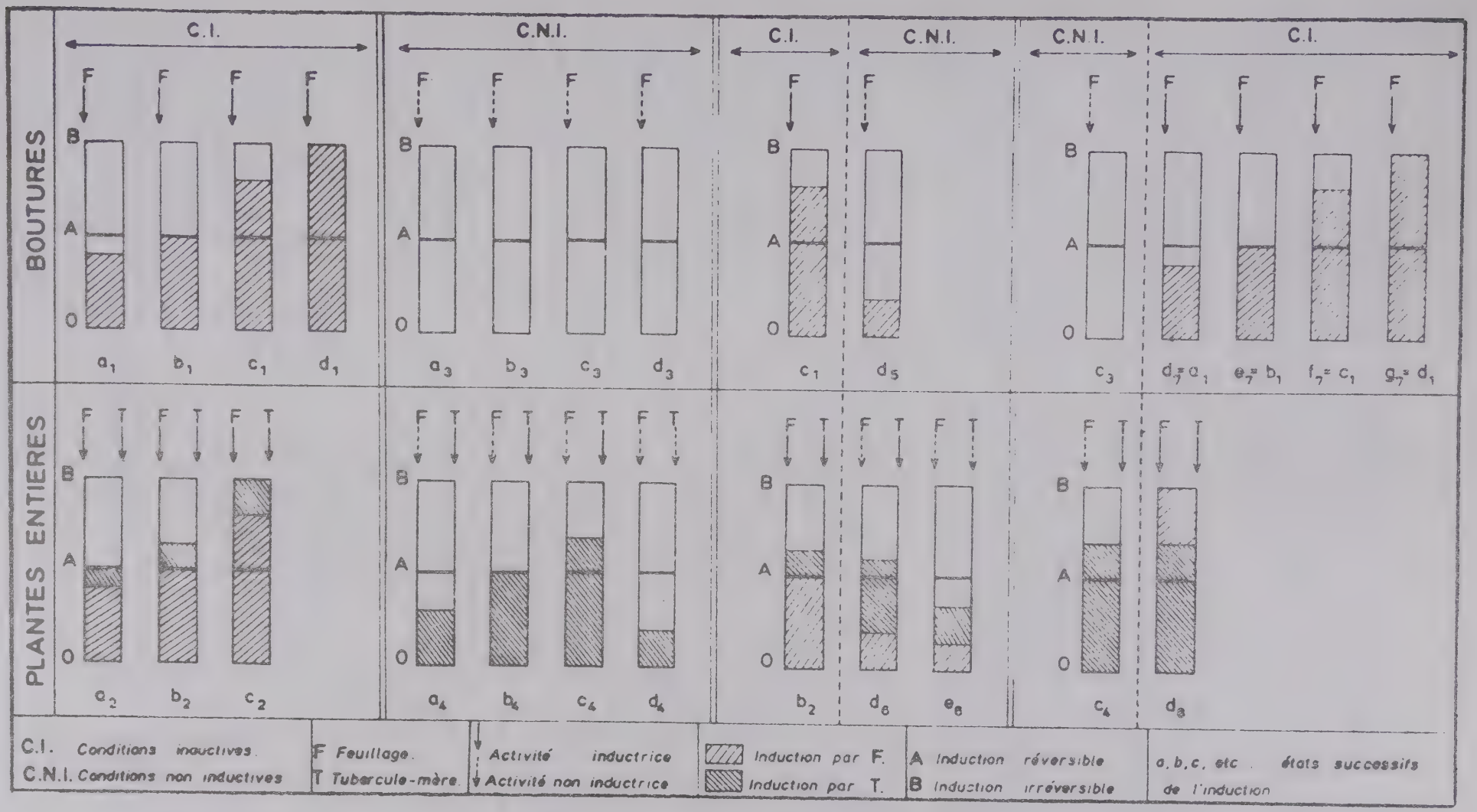
des boutures de tomate sur pomme de terre ne tubérisent pas, alors que les boutures de pomme de terre sur pomme de terre tubérisent. Mais un sur-greffage de pomme de terre sur tomate redonne à ces boutures la faculté de tubériser; l'agent stimulant est donc capable de passer à travers les tissus de la tomate. Par contre, si l'on prélève tardivement les boutures sur des tubercules mères incubés et que l'on greffe dessus du feuillage de tomate, les boutures de tomate sur pomme de terre tubérisent, ceci montre bien que l'induction est due au tubercule mère puisque nous avons vu précédemment que le feuillage de tomate est incapable de provoquer l'induction. Cette expérience est la démonstration de la double induction de la tubérisation par le feuillage et le tubercule mère.

A la suite de ces travaux, MADEC et PERENNEC proposent la synthèse suivante : en conditions inductives, le feuillage induit la tubérisation et on peut assimiler la plante à une bouture; en conditions non inductives, le feuillage n'induit pas la tubérisation mais celle-ci peut être alors déclenchée par le tubercule mère sans que la croissance de la tige s'arrête si l'induction irréversible n'est pas atteinte car, dans ces conditions, joue l'antagonisme croissance/tubérisation qui est de règle chez les boutures (MADEC et PERENNEC 1959).Ils proposent donc de comparer la plante à une "éprouvette" et l'induction à un "liquide" versé dans l'éprouvette par le feuillage ou le tubercule mère ou les deux à la fois. L'induction réversible nécessaire au déclenchement de la tubérisation est représentée par un premier niveau A, l'induction irréversible par un niveau B, c'est-à-dire l'éprouvette pleine. Les différentes situations de comportement de la plante sont alors : (voir schéma d'après MADEC et PERENNEC 1962)

- au-dessous de A : croissance et pas de tubérisation;
- entre A et B : il y a tubérisation et croissance;
- à partir de B : la tubérisation est définitive et la croissance arrêtée;
- tant que le liquide n'a pas atteint B : il peut redescendre en-dessous de A, c'est le cas de repousse lorsqu'il repasse en-dessous de A.

Tout le problème est d'arriver à déterminer la nature de ce "liquide" et son mécanisme général d'action sur la croissance et le poids des tubercules en fonction du taux d'assimilation de la plante.

GRAPHIQUE N° 1




*Explication schématique de l'induction de la tubérisation par le feuillage et le tubercule-mère.*

D'après MADEC et PERENNEC

## 7 - Rôle des substances de croissance sur la tubérisation

De nombreux auteurs ont cherché à expliquer le processus biochimique de la tubérisation, mais aucun n'a, à ce jour, réussi à donner une explication claire.

La caractéristique des études menées sur la recherche de l'hypothétique hormone de tubérisation peut se résumer, quels que soient les auteurs, à la recherche d'une seule substance susceptible de déclencher la mise en oeuvre du processus d'induction.

Si nous reprenons les différentes publications sur le sujet, les contradictions sont nombreuses. Toutefois, on peut considérer que le nombre de substances mises en cause est relativement limité : les acides, abcissiques (ABA), gibbérelliques (AG), indol-acétique (AIA), phénoliques (CP), les sucres et dernièrement les cytokinines (K).

Pour PALMER (1969 et 1970) les cytokinines sont la cause du déclenchement de l'induction. Les critiques que nous pouvons faire des travaux de PALMER reposent tout d'abord sur l'imprécision du matériel végétal utilisé notamment quant à l'âge des tubercules mères d'où provenaient les stolons utilisés dans les manipulations in vitro. Autre point discutable dans ses travaux, le rôle attribué aux cytokinines (K) comme anti-gibbérellines, alors que l'auteur nous précise que les K. sont produites en grande quantité sous des températures élevées et les A.G. sous des températures froides. PALMER, pratiquement, réfute le rôle du froid comme inducteur de la tubérisation. Or, si les cytokinines sont produites à température élevée, 25° lui semblant un optimum, on comprend alors mal comment les températures froides peuvent favoriser la tubérisation, point sur lequel tous les auteurs sont relativement d'accord. PALMER n'explique pas cette contradiction dans son raisonnement. Néanmoins, il faut reconnaître la qualité des travaux de cet auteur; il démontre de façon indéniable l'importance des cytokinines, in vitro, mais hélas, il est dans l'impossibilité de donner une explication cohérente du phénomène de la tubérisation in vivo, sans se contredire lui-même.

MADEC, PERENNEC et GREGORY ont fort bien montré qu'arrivé à un certain niveau d'induction, le phénomène de tubérisation est irréversible (voir schéma des éprouvettes page 9 ). Or, PALMER démontre dans une expérience, que l'effet de la kinétine est arrêté si la "pression" de cette substance sur le stolon disparaît. Dans cette expérience, il nous est expliqué que trois jours sont nécessaires pour obtenir une action de la kinétine, PALMER attribue ce délai à une durée de transfert ou au temps nécessaire à la kinétine pour se transformer en hormone, mais il ne se prononce pas sur ce choix.

Un autre auteur a tenté ces dernières années d'apporter une contribution importante à la tubérisation, il s'agit de TIZIO. C'est sans doute un des rares chercheurs à envisager l'interaction d'au moins deux substances pour induire la tubérisation. TIZIO pense que les composés phénoliques (C.P.) et notamment l'interaction AG x CP peut déclencher la tubérisation. De nombreux essais réalisés par cet auteur, parfois en collaboration avec PAUPARDIN, montrent que, effectivement, in vitro, les acides : chlorogénique, p-coumarique, caféïque induisent la tubération en antagonisant les A.G..

Une publication de I969 de ces deux auteurs montre l'action de la quercétine comme inducteur en empêchant sans doute la formation d'ABA dans la plante. Pour TIZIO, il se peut que l'acide quinique soit à l'origine du déclenchement des conditions favorables à la tubérisation. car d'après BOUDET, cet acide serait le précurseur des C.P. par la voie des shikimates. Toutefois, l'acide quinique induit une tubérisation de caractère particulier dont l'aspect rappelle celui de la tubérisation du crôsne du Japon. Cette forme de tubérisation particulière est due, pour TIZIO et PAUPARDIN, à une absence d'activité de l'ABA antagonisée par les C.P..

Le rôle de l'AIA est contesté par PALMER qui démontre l'impossibilité pour des stolons de former des tubercules, in vitro, uniquement au contact de l'AIA alors que cela s'avère possible avec les K. Il semble probable que l'AIA n'intervienne pas directement comme facteur de tubérisation, mais son rôle, en relation avec les autres substances ne peut être, à notre sens, tenu comme négligeable. GALSTON a démontré que la teneur en auxine oxydasique s'élève après un traitement à la gibbérelline. PILET a trouvé d'une part que l'activité auxine-oxydase s'élève au fur et à mesure du vieillissement des feuilles et d'autre part, que les polyphénds agissent comme synergiste des auxines et les monophénols, très souvent, comme antagoniste mais, de toute façon, pour cet auteur, l'action combinée de l'AIA et des C.P. joue comme synergiste de la croissance.

L'action de l'AG est considérée comme favorable à la croissance et défavorable à la tubérisation. C'est sans doute une des rares substances dont le mode d'action ne semble pas controversé par les divers auteurs consultés. L'activité de l'AG est cependant très complexe du fait des nombreuses interactions dans lesquelles elle entre en jeu. CURTICĂPEANU a analysé les teneurs en AG à divers stades d'évolution du tubercule mère. Il a constaté que :

- le tubercule mère dormant contient 0,1 ɣ /kg d'AG ·
- les tubercules fils passent par un maximum après I6 jours de germination, soit 310 ɣ /kg d'AG ·
- les tubercules fils, à la récolte, sont revenus à un niveau de 0,2 ɣ /kg d'AG.

Pour PALMER, l'AG est incapable de promouvoir l'accumulation de l'amidon mais pour PALEG et ROZIER, l'AG induit l'α amylase, enzyme vital à la synthèse de l'amidon. PILET, quant à lui, considère que l'AG est, d'après sa terminologie, un effecteur positif ou négatif selon les conditions. Nous pensons que cette double éventualité résume parfaitement l'action de ces substances. TIZIO, en montrant l'antagonisme AG x CP, précise les AG importants dans la pomme de terre.

il s'agit essentiellement des A.G. n° 1, 3, 4, 7, 9, 13.

Les composés phénoliques, comme TIZIO l'a explicité, jouent certainement un rôle important dans le phénomène de tubérisation. VAN FLEET pense que la différenciation de certains tissus dépend de l'accumulation des C.P. qui agissent eux-mêmes sur l'auxine-oxydase. Au niveau de l'analyse chimique des C.P., PAULET et LIORET ont calculé que la concentration des C.P. est telle qu'elle peut inhiber des quantités d'enzymes et autres substances au moins 1.000 fois supérieures à celles susceptibles d'être pratiquement retrouvées par les moyens d'investigation actuels.

Nous avons déjà discuté, à travers les travaux de PALMER, des K. Toutefois, il semble utile de revenir sur ce sujet à travers d'autres auteurs. En effet, si pour PALMER, les K. stimulent la formation des tubercules par activation d'enzymes préexistants, essentiels à la synthèse et à l'accumulation d'amidon, pour HEMBERG les K. jouent sur l'induction en brisant la dormance par inhibition des acides inhibiteurs dont l'ABA. GASPARD et XHAUFFLAIRE signalent le rôle important de la kinétine comme activateur des auxines-oxydases chez les racines de Lens sp.. et cela en fonction de la dose de l'effecteur, on arrive même à un arrêt de la croissance à partir d'une certaine dose. Mais ces auteurs signalent aussi le rôle important des K. comme transporteur des auxines endogènes.

Quelques autres substances sont mises en cause, en particulier les sucres. OKAZAWA, MES et MENGE démontrent que l'augmentation des sucres dans le milieu peut promouvoir la formation des tubercules ce qui est d'ailleurs contesté par PALMER à la suite de ses essais.

L'ABA, pour SHIH et RAPPAPORT, inhibe la germination des tubercules et supprime la synthèse des acides nucléiques en accélérant le phénomène de sénescence. Ces auteurs situent l'action de l'ABA au niveau du reticulum endoplasmique. PALMER pense que l'ABA n'a pas d'action sur la synthèse des protéines, mais que l'ABA est un inhibiteur des K. Enfin, récemment STALLNECHT (1972) a montré que la coumarine induit la tubérisation mieux que la kinétine en donnant notamment à 25 mg/l. des tubercules plus gros.

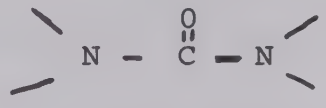
Comme nous avons pu le constater les contradictions ne manquent pas dans l'étude du rôle des substances de croissance dans l'induction de la tubérisation. Cela est sans doute dû au fait que chaque auteur a cherché à faire ressortir le rôle dominant d'une substance par rapport aux autres en oubliant les interactions multiples qui doivent certainement se produire dans la plante à ce moment là.

## CHAPITRE II

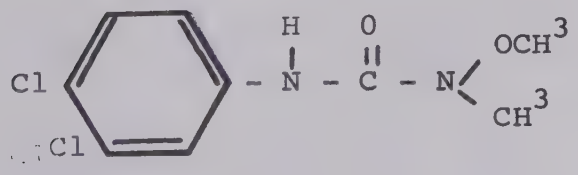
### Résultats des essais de pleins champs réalisés de 1964 à 1970

L'ensemble détaillé des résultats obtenus figure : dans le volume annexe de ce travail. Nous retiendrons dans ce chapitre, les résultats les plus typiques qui nous ont fait entrevoir que le buttage n'était pas simplement une façon culturale destinée à tenir le sol propre et à empêcher les tubercules de verdir, mais qu'il avait aussi une action indirecte sur la physiologie de la plante.

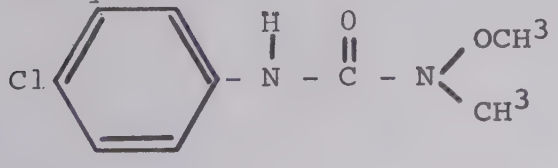
La première année d'expérimentation a surtout permis de sélectionner les herbicides sélectifs de la pomme de terre et de fixer les doses d'utilisation. Les produits les plus intéressants appartiennent tous aux groupes des urées substituées qui ont en commun le groupe



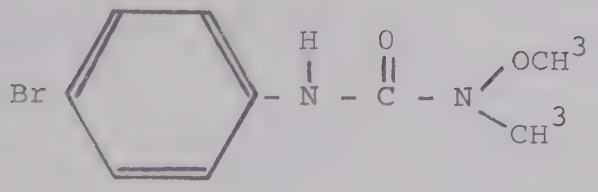
Ce sont : le linuron ou 3 -(3-4 dichlorophényl) 1 méthoxy 1 méthyl urée



le monolinuron ou 3 (4-chlorophényl) 1 méthoxy 1 méthyl urée



Le métobromuron ou 3 -(4 bromophényl) 1 méthoxy 1 méthyl urée




Les doses homologuées sont 1000 g matière active par hectare pour le linuron et le monolinuron, et de 2000 g matière active par hectare pour le métobromuron. Toutefois, à ces doses sélectives de la pomme de terre, quelques adventices restent non contrôlées, il s'agit essentiellement de :

- Galium aparine
- Mercurialis annua
- Polygonum aviculare
- Fumaria officinalis
- Convolvulus arvensis
- Agropyrum repens
- Avena fatua et ludovicianna

Parmi ces adventices, Mercurialis annua s'avère particulièrement nocive pour la pomme de terre ainsi que Agropyrum repens.

Les années suivantes, si nous avons continué à étudier un certain nombre de nouveaux herbicides, nous nous sommes surtout attachés à démontrer l'influence des buttages, hersages et désherbages mécaniques sur la croissance et la tubérisation des pommes de terre. Le monolinuron à 1000 g ma/ha qui nous était, à l'époque, apparu comme le produit le plus intéressant a toujours été le désherbant utilisé pour les parcelles désherbées chimiquement.

Très rapidement, devant l'excellent désherbage obtenu à l'aide des désherbants chimiques, nous nous sommes posés la question de savoir si les façons culturales avaient encore leur utilité et si, dans le fond, elles n'intervenaient pas uniquement comme désherbant. Dès nos premiers essais effectués avec cette optique, les résultats infirmèrent immédiatement l'hypothèse posée, surtout en ce qui concerne le rôle du buttage. Si celui-ci intervient bien en temps que façon nettoyante, il a de plus, une action indirecte sur la croissance et la tubérisation des pommes de terre. Quelques exemples choisis dans le volume annexe vont montrer l'importance du rôle du buttage sur le rendement final en culture de consommation.

| Lieux d'essais | | Rendement en t/ha | |
|---|---|---|---|
| | | Buttage | Non buttage |
| Essai de Germonville | 1965 | 36,66 | 29,52 |
| Essai de Saclay | 1965 | 58,29 | 50,13 |
| Essai de Plebeyr Christ | 1966 | 52,21 | 50,75 |
| Essai de Milizac | 1967 | 35,70 | 33,99 |
| Essai de Toury | 1967 | 30,19 | 26,39 |
| Essai de St-Germain | 1968 | 32,00 | 30,00 |

Ces quelques chiffres montrent bien que des écarts très importants peuvent être obtenus sur les rendements en complétant le désherbage chimique par un buttage en cours de végétation lorsque les fanes ont 15 à 20 cm de hauteur. Néanmoins, tous les essais ne présentent pas un intérêt aussi évident et nous avons de très nombreux résultats où la différence entre les deux techniques mises en oeuvre, bien qu'à l'avantage des parcelles buttées, n'est pas significative. Enfin, nous avons quelques essais où les résultats sont à l'avantage du buttage plantation; il s'agit en général de cultures où se trouvaient des adventices résistantes au monolinuron, mais il y a toutefois quelques rares cas inexplicables pour l'instant à l'avantage du buttage à la plantation.

Un des aspects les plus prometteurs de la non culture nous a semblé devoir être dans les cultures de primeurs. Nous avons donc mis en place un réseau d'essais dans toutes les régions de production de France et cela nous a permis de faire la constatation pratique suivante sur la variété Sirtéma :

- la culture à plat avec désherbage chimique donne toujours un nombre de tubercules plus élevé et un rendement plus précoce que les cultures buttées à la plantation et surtout en cours de végétation.

Quelques chiffres pris dans le chapitre IX du volume annexe illustrent parfaitement cette importante découverte :

| Lieux d'essais | Culture à plat | | Culture buttée | |
|---|---|---|---|---|
| | Rendement par parcelle | Nombre tubercules par parcelle | Rendement par parcelle | Nombre tubercules par parcelle |
| Auxonne le 1/6/66 | 7,61 kg | 289 | 6,54 kg | 252 |
| Paimpol le 6/6/66 | 12,60 kg | 234 | 11,70 kg | 201 |
| Auxonne (moyenne des 4 arrachages 1967) | 8,4 kg | 130,2 | 9,5 kg | 111,5 |
| St Meloir les Ondes le 29/6/67 | 8,8 kg | 175,5 | 7,1 kg | 154,5 |
| Hyères (moyenne des 4 arrachages 1967) | 10,1 kg | 330,1 | 8,1 kg | 181,5 |

Ces résultats viennent d'être confirmés récemment par RIOUX et coll.1971 qui constatent que la culture à plat produit plus de tubercules que les cultures buttées avant la levée ou en cours de végétation.

Dans les 3 essais où cette tendance n'a pû être confirmée, les résultats s'expliquent parfaitement bien par la présence d'adventices résistantes au monolinuron.

Quelques essais ont été réalisés sur pomme de terre féculière et permettent d'assurer que les désherbants expérimentés n'ont pas d'influence sur la richesse en fécule des variétés utilisées.

Des essais conduits en culture de plant, chapitre VIII du volume annexe, montrent comme en culture de consommation, l'intérêt du désherbage chimique complété par un buttage en cours de végétation. Enfin, des essais de sensibilité variétale nous ont permis de constater que les principales variétés de pommes de terre cultivées en France, dont la plus importante Bintje, ne sont pas sensibles aux désherbants autorisés à la vente en France. Par contre, une étude des profils racinaires et des rendements sur plusieurs variétés nous permet d'affirmer qu'il existe une grande influence des façons culturales en fonction du facteur variétal.

La variété Bintje, choisie pour réaliser nos expériences, présente d'ailleurs une sensibilité moyenne au travail du sol en cours de végétation du fait de la forme de son réseau racinaire.

Deux faits très importants ont été mis en évidence au cours de tous ces essais qui ont analysé le rendement, soit globalement, soit par des arrachages fractionnés et la croissance à une ou plusieurs époques :

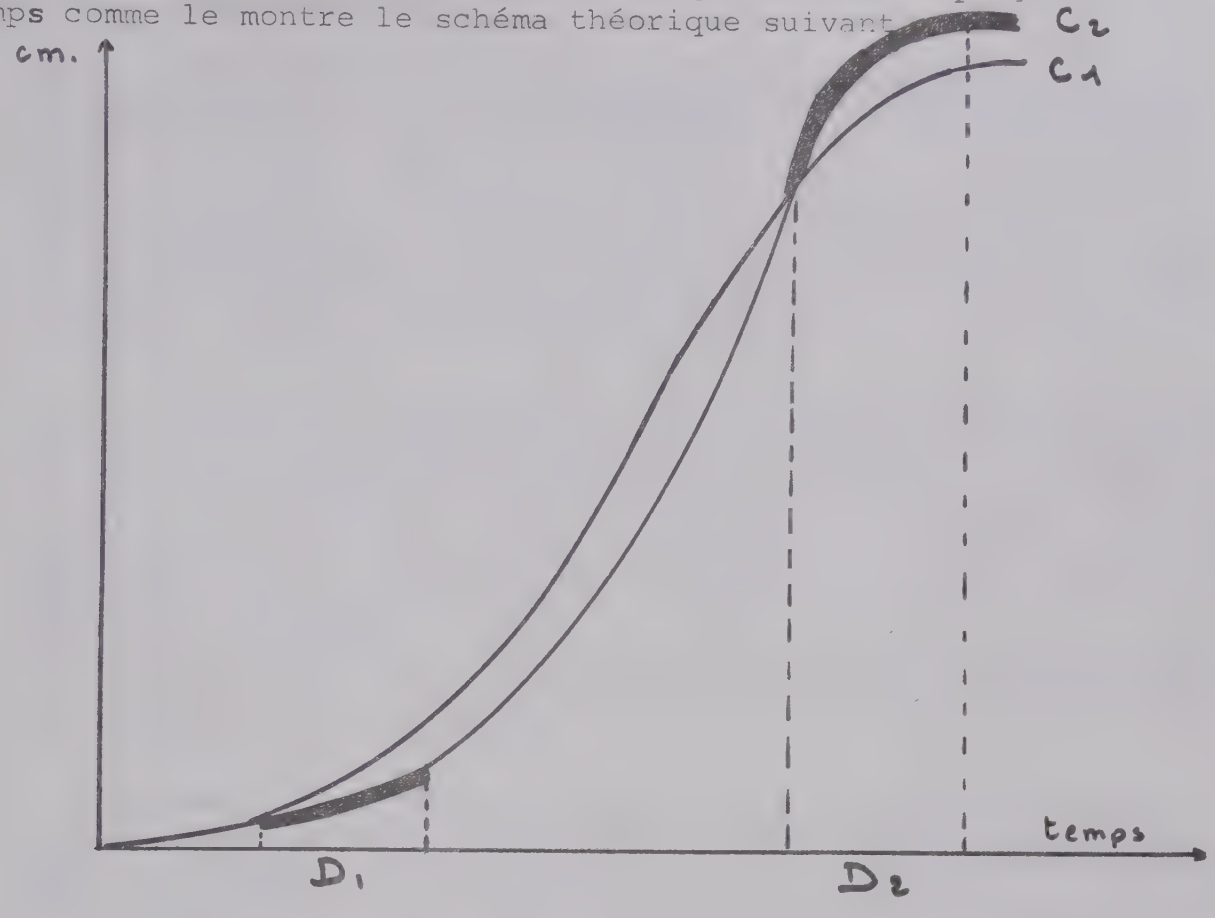
1) Dans les parcelles buttées, les touffes marquent un arrêt de leur croissance immédiatement après une façon culturale puis, par la suite, leur vitesse de croissance s'accélère pour finalement dépasser les touffes des parcelles non buttées dont la croissance s'interrompt plus rapidement;
2) Même phénomène au niveau du rendement mais beaucoup plus décalé dans le temps.
   En effet, en matière de hauteur de végétation, les plantes buttées en cours de végétation, rattrapent et dépassent les plantes buttées à la plantation 30 à 40 jours avant la maturité totale. En ce qui concerne le rendement, ce phénomène ne se produit que 10 à 15 jours avant la récolte finale dans le cas des cultures de consommation.

A la suite de ces sept années de plein champ, un certain nombre d'hypothèses peuvent être émises pour expliquer les résultats obtenus.

lère hypothèse

L'accroissement du rendement est dû à l'action indirecte des outils qui blessent et coupent des racines. Les différentes courbes de tubérisation que nous avons réalisées montrent bien l'importance de ce phénomène : arrêt momentané de la croissance puis redépart de la végétation après une quinzaine de jours, et cela une ou deux fois selon le nombre de façons culturales pratiquées. Les profils racinaires que nous avons effectués au moment des buttages se sont toujours situés en général, lors de l'induction de la tubérisation. Nous pensons donc qu'à cette époque, une des plus importantes du cycle végétatif de la pomme de terre, nous apportons une perturbation dans l'induction qui s'avère bénéfique par le décalage que nous réalisons. L'induction de la plante est considérée plus ou moins comme une constante pour une variété donnée en conditions identiques. De plus, nous intervenons à une époque où la plante bénéficie d'une double induction feuillage et tubercule mère, si nous supprimons l'antagonisme bien connu croissance-tubérisation nous favorisons probablement l'induction.

En fait, il est fort probable que nous ne modifions pas réellement la durée du cycle de croissance, mais que nous le déplaçons dans le temps comme le montre le schéma théorique suivant :




durée $C^1 \sim C^2$

d'où $D^1 \sim D^2$ $\quad D^1$ = 15 jours en moyenne

En réalité, quelquefois $C^1$ doit être d'une durée plus courte que $C^2$ lorsque la température devient plus froide durant la période $D^1$ et surtout à la fin de celle-ci lorsque la croissance reprend. Cela expliquerait une induction meilleure de $C^2$ bénéficiant d'une double induction réelle et de températures froides par rapport à $C^1$ dont le temps d'induction favorable se trouve être plus court du fait de l'antagonisme croissance-tubérisation. Finalement, il s'agit de définir une relation entre $D^1$ et $D^2$ de manière à connaître, pour des séquences données de retard en $D^1$, l'influence sur la durée de $D^2$ et le gain de surface foliaire que l'on peut en espérer. MILTHORPE et l'école anglaise ont démontré que le rendement est lié à la surface foliaire et que celle-ci dépend de la durée d'induction. Pour vérifier cette première hypothèse, nous devrons étudier les systèmes racinaires et surtout suivre de près la croissance, signe extérieur de l'induction.

2ème hypothèse

Influence de l'eau sur la formation du rendement.
Si quelques auteurs ROBINS et DOMINGO (1956) cités par GREGORY (1965) ont trouvé que le taux d'humidité du sol a peu d'importance sur le phénomène de tubérisation, par contre ITO et KATO (1951) ont montré qu'une pénurie d'eau favorise la tubérisation au détriment des parties aériennes. Mais tous ces auteurs ont toujours considéré l'eau comme facteur direct sur la tubérisation mais jamais comme un facteur indirect.

L'action indirecte de l'eau sur le rendement pourraît être le phénomène d'évaporation et son action sur la température du sol elle-même prépondérante sur la tubérisation. Toutefois, l'idée d'une action directe de l'eau sur le rendement n'est pas entièrement à exclure, comme les travaux de GRISOLLE l'ont très bien démontré, notamment durant la période maximum de grossissement des tubercules.
Il semble, a priori, difficile de rejeter l'action des buttages sur les caractéristiques physiques du sol qui ont elles-mêmes une action sur l'eau du sol.

Ceci, peut conduire à discuter l'hypothèse suivante : les plantes à un moment donné ont un déficit hydrique aboutissant à la fermeture des stomates. Le DPD (déficit de pression de diffusion) va s'accroître, nous aurons une absorption de $CO^2$ plus faible, donc une baisse de la photosynthèse qui conduira à une production de matière sèche inférieure à une plante normalement hydratée.

Mais, d'autre part, toute diminution du $CO^2$ au niveau des stomates induit une élévation du pH qui produit une dissociation des sucres. Ceux-ci vont accroître la pression osmotique d'où une élévation du DPD. Ce phénomène va provoquer une ouverture des stomates qui vont transpirer l'eau appelée et accentuer ainsi le processus de déficit de la plante, - mais en réactivant l'absorption de $CO^2$ et la photosynthèse. Il doit se passer à ce moment là, à notre sens, une lutte entre ouverture et fermeture des stomates qui, tout en permettant à la plante de former de la matière sèche accélère son déficit hydrique et sa maturité. Le contrôle de ces hypothèses demande la réalisation d'un certain nombre de travaux.

a) Etude de l'humidité relative entre les buttes et dans les buttes afin de voir s'il existe des différences notables.

b) Etude la porosité et de la densité des sols afin de voir la façon dont l'eau peut circuler à travers les buttes travaillées ou non.

c) Etude des sucres pour compléter ce travail. En effet, nous avons vu que l'augmentation du pH au niveau des stomates amène une dissociation des sucres par phosphorolyse. Que d'autre part, point très intéressant soulevé par TUMAROV, la teneur en sucre soluble et amidon se modifie en fonction de l'eau. En général, on trouve moins de glucides dans les plantes croissant en sol sec que dans celles poussant en sol humide. Ceci est dû vraisemblablement à l'activité respiratoire et ce d'autant plus que d'après PELINOV, le dessèchement conduit à une migration des glucides hors des feuilles.

3ème hypothèse

Une dernière hypothèse de travail peut être discutée, elle tiendrait compte des deux premières en relation avec la couverture foliaire des plantes par rapport au sol.

Il serait sans doute intéressant d'étudier les fonctions de croissance dans différentes conditions à l'aide des indices de BLACKMAN (NAR-LAR-RGR). Ces valeurs devraient permettre de préciser les organes touchés par les variations de déficit hydrique et par l'incidence des blessures sur les différents organes de la pomme de terre. Par ailleurs, il est admis que la photosynthèse croît avec la transpiration relative, c'est-à-dire avec le rapport $\frac{ETR}{ETP}$ et surtout avec la transpiration relative corrigée (c'est-à-dire les phénomènes d'ordre physiologique : régulation stomatique et cuticulaire) qui diminue très rapidement lorsque l'évapotranspiration augmente (ETP instantanée). Or, dans les conditions naturelles, la régulation stomatique est la règle et ceci permet de penser que l'ETP instantanée est le facteur limitant de premier ordre dans la production de matière sèche. Le déséquilibre $ETR < ETP$ traduit donc une résistance à la circulation de l'eau qui s'accompagne parallèlement d'une augmentation de la résistance aux échanges gazeux puisque les trajets sont les mêmes. Cette diminution des échanges gazeux est elle-même susceptible de limiter l'activité de la photosynthèse.

Tout le travail qui suit va essayer de vérifier les hypothèses posées et éventuellement de définir de nouvelles théories sur la formation du rendement agronomique de la pomme de terre et tenter ainsi de proposer de nouvelles techniques plus rentables pour les praticiens.

-=-=-=-=-=-=-=-=-

# CHAPITRE III

## ETUDE DE DIVERSES TECHNIQUES PERMETTANT UNE APPROCHE EXPLICATIVE DES RESULTATS OBSERVES DANS LES ESSAIS DE PLEINS-CHAMPS

Le chapitre II a permis de mettre en évidence l'intérêt ou non des façons culturales selon le type de cultures envisagées. Nous allons essayer à l'aide de modèles théoriques, d'expliciter les phénomènes observés.

## I - ETUDE DE LA CROISSANCE

### 1/ Généralités

La photosynthèse représente un processus physiologique de base nécessaire à la formation du rendement biologique et économique des plantes cultivées. Toutefois, bien que la plante soit composée principalement de matières organiques formées en grande partie par la photosynthèse, la fraction des éléments inorganiques, entrant dans la composition de la matière organique, absorbée par les racines ne doit pas être négligée. D'autre part, la libération de matières inorganiques et l'excrétion de matières organiques par la plante, s'effectuant en dehors de la respiration par les racines, par exemple, sont également à prendre en considération. Nous pouvons dire que toute activité anabolique se réalise simultanément à une série de réactions cataboliques dont il convient de tenir compte dans l'étude d'un bilan général d'activité.

L'état "matériel" et énergétique de l'organisme (la plante) est la résultante de tous ces processus biosynthétiques et biologitiques. La croissance et le développement de la plante en représentent l'expression dynamique. D'après NICHIPOROVICH (1956), on peut considérer que la distribution d'accroissement du taux de

matière sèche dans la plante, entre ses différents organes, est dirigée par la phase de développement dans laquelle se trouve la plante à ce moment-là. La totalité de la matière sèche de la plante, à la fin du cycle végétatif, c'est-à-dire au début de la maturité physiologique, est désignée sous le nom de rendement biologique. On peut donc exprimer le rendement biologique des plantes en matière sèche par la formule de NICHIPOROVICH :

$$R\ bio = Ass + Nu - Res - Ex$$

formule dans laquelle :

Ass = assimilation au sens large du mot,
Nu = nutrition minérale et organique prélevée à partir du sol,
Res = respiration au sens large,
Ex = matières éliminées de la plante par quelque moyen que ce soit.

Cette formule possède un sens plutôt purement logique qu'effectif. Toutes les valeurs affectées du signe moins sont difficilement mesurables expérimentalement parlant : leur détermination quantitative est très exigeante en équipement matériel.

Chez la pomme de terre, le rendement biologique ne représente pas le rendement économique car, dans le cas de cette plante, seul le tubercule possède une valeur économique. Le rendement économique ne représente donc, dans ce cas, qu'une partie du rendement biologique. C'est pourquoi le rapport optimal entre le rendement biologique total et le rendement économique doit être pris en considération.

Ce rapport optimal peut être exprimé par la quantité de matière sèche sans valeur économique nécessaire à la production du rendement optimal. Mathématiquement, cela peut s'exprimer par la formule proposée par NICHIPOROVICH (1956) :

$$R\ éco = R\ bio \ .\ K\ éco$$

Dans cette formule R représente le rendement et K un coefficient d'efficacité. Celui-ci peut servir de critère déterminant pour le choix entre deux variétés possédant un fort "rendement biologique".

Le rendement biologique exprimé par la production de matière sèche est fourni suivant NICHIPOROVICH (1956) à 90-95 % par la photosynthèse. Chez la pomme de terre, comme chez toutes les autres plantes du même type, la surface photosynthétique active qu'est la surface foliaire joue un rôle primordial. C'est pourquoi, dans ce cas, l'idée d'étudier les relations entre la production de matière sèche et la surface foliaire est très logique. On peut en effet exprimer la productivité des plantes en matière sèche par la formule :

$$\frac{Q}{\text{temps}} = (\text{Ass} + \text{Nu} - \text{Res} - \text{Ex})\ g/m^2 / \text{heure}$$

dans laquelle Q représente la production. Il en découle que la productivité est une notion complexe mettant en jeu plusieurs composantes. Cependant, nous conviendrons avec NECAS (1966) que s'il est indiscutable que la composante la plus importante se trouve être la photosynthèse, faire dépendre uniquement la productivité de cette dernière en ignorant les autres composantes serait erroné.

Les composantes principales de la production sont, comme il a été dit, très sensibles à l'action des influences extérieures. Ont surtout de l'importante les facteurs qui règlent l'apport énergétique (lumière, chaleur, etc...) et l'apport de matières initiales pour la production ($CO_2$, $H_2O$, nutrition minérale. C'est pourquoi, pour NECAS (1966), le rendement des plantes dans les conditions naturelles dépend beaucoup plus, en règle générale, de l'état des rapports physiologiques des facteurs déterminants que de la constitution même de l'appareil photosynthétique. DEMOLON (1956) signalait d'ailleurs l'importance de la distinction entre la croissance, qui se traduit pas l'augmentation de la taille et du poids d'organes existants, et le développement qui consiste en la différenciation d'organes nouveaux.

Cette dernière activité est en effet liée à la manifestation de conditions écologiques (température et lumière), seuils caractéristiques de chacune des catégories d'organes d'un végétal donné.

2 - Analyse morphologique quantitative de la pomme de terre :

La différence du rythme de croissance des divers organes de la plante dépend pour beaucoup de l'action exercée par les facteurs extérieurs qui conditionnent l'état morphologique de la plante à un moment donné ; cette différence peut être exprimée par plusieurs rapports, par exemple :

a) - le poids total de matière sèche ou la proportion que représente cette matière sèche par rapport au poids connu de matière verte des différents organes de la touffe ;

b) - la part que représente chaque organe de la plante à un stade donné, exprimée en matière sèche par rapport au total ;

c) - la surface d'assimilation, surtout la surface foliaire ;

d) - le rapport entre la surface d'assimilation et la totalité de la matière sèche de la touffe ;

e) - le rapport entre la surface foliaire et le poids de matière sèche des feuilles.

L'étude de l'évolution de la fraction que représente le poids de matière sèche contenue dans chaque catégorie d'organes, par rapport à la matière sèche totale de la plante, donne une succession d'images de l'importance changeante de ces différents organes pour la production d'ensemble durant la phase végétative considérée.

Pour l'analyse morphologique quantitative de croissance des pommes de terre, on peut utiliser la méthode allométrique mise au point par ENGEL et RAENBER (I962). Cette méthode permet une représentation graphique des modifications les plus importantes de croissance et du déplacement des intensités de croissance vers tel ou tel organde durant le développement de la touffe. Il faut décider, dans chaque cas particulier, du système de transformation à utiliser en choisissant celui qui permet le mieux de mettre en valeur, sur les courbes tracées, les points caractéristiques.

D'après ENGEL et RAENBER (I962), c'est le système logarithmique qui convient le mieux pour des buts allométriques. Ces auteurs partent de l'équation allométrique suivante :

$$\frac{dy}{dt} \cdot \frac{I}{y} \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \frac{I}{x} = a$$

dans laquelle y représente le poids matière sèche d'un organe ;
" " x " " " " " " de la touffe ;
" " t " le temps ;
" " a est le coefficient allométrique donnant l'angle de cassure de la doite.

Si a = I, cela signifie la croissance égale des grandeurs comparées;

si a $>$ I, y s'accroît plus rapidement que x (allométrie positive) ;

si a $<$ I, x s'accroît plus rapidement que y (allométrie négative).

Pour HUXLEY (I932), la relation d'allométrie peut s'écrire sous la forme générale $y = bx^a$ : ce que l'on peut encore écrire :

$$\text{Log } y = a \text{ Log } x + \text{Log } b \qquad (I)$$

ou encore : $\frac{dy}{y} \cdot \frac{dx}{x} = a$

Cela nous indique, durant la phase de temps où la formule (1) se vérifie, que l'accroissement de y et x est dans un rapport constant. Cette formule peut s'écrire en dérivant par rapport au temps dont y et x sont fonction :

$$\frac{dy}{y\,dt} \cdot \frac{dx}{x\,dt} = a$$

ce qui nous ramène à la formule de ENGEL déjà citée. En fait, comme nous l'avons vu, le coefficient "a" d'allométrie permet d'exprimer l'évolution du rapport $\frac{y}{x}$ au cours de la croissance.

3 - Détermination de la productivité en ce qui concerne la matière sèche :

Tous les travaux concernant l'étude des lois de croissance des végétaux sont tirés à l'origine selon V.H. BLACKMAN, de la loi de WILHEMY (I850), qui peut s'énoncer ainsi : "La quantité d'échanges chimiques dans un temps donné est directement proportionnelle à la quantité de substances réagissantes présentes dans le système".

BLACKMAN V.H. comprare la croissance d'une plante à l'accumulation du capital. Ainsi, à partir de certains phénomènes financiers mathématiquement déterminés, il en déduit que le poids sec final d'une plante annuelle dépend :

- du poids de la semence et de son état au moment de produire du nouveau "matériel" :
- du taux auquel le "matériel" présent est utilisé pour produire du nouveau "matériel", c'est-à-dire du pourcentage d'augmentation du poids sec par jour et par semaine ·
- du temps durant lequel la plante est en augmentation de poids.

Il est possible de relier ces données par une équation afin de définir un modèle permettant d'évaluer le poids final. L'Ecole de NOLL (1906) définit un "Quotient de Substance" qui serait le facteur qui relie le poids sec à la fin d'une période de croissance au poids sec au début de cette croissance. GRESSLER (Inaug. Diss. BONN, 1 - 29 tables I.V. 1907) sur HELIANTHUS UNIFLORUS GIGANTEUS essaie de trouver une équation reliant entre elles des données de poids sec enregistrées toutes les 5 semaines. En divisant le second poids par le premier, le troisième par le second, etc....., il trouve que le "Quotient de Substance" pour les différentes semaines était de : 3,25 - 3,45 - 3,24 - 3,56 - 3,0 - 1,75 - 1,52 - 1,40 - 1,30. Ces résultats s'ordonnent approximativement comme les termes d'une progression géométrique, sauf vers la fin où ils se rapprochent plus de ceux d'une série arithmétique.

GRESSLER propose de les rapprocher d'une série géométrique discontinue de formule :

$$W_1 = W_0 \ (1 + r)^t$$

où $W_1$ : poids final

$W_0$ : poids initial

$r$ : le taux d'intérêt (rate of interest) = raison

$t$ : le temps

BLACKMAN, quant à lui, propose une formule différente car il considère que la croissance des plantes présente une certaine continuité contrairement à ce que suggère GRESSLER. Il propose donc :

$$W_1 = W_0 \ e^{rt}$$

e : base des logs népériens

Formule que l'on peut transformer ainsi :

$$\text{Log } \frac{W_1}{W_O} = rt$$

Sur H. uniflorus, on parvient aux valeurs suivantes :

| Poids semence | Poids final | Temps | Raison discontinue | | raison continue | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | par semaine | par jour | par semaine | par jour |
| 0,0327 | I7,33 | 37 | 227,6 % | I8,5% | II9 % | I7 % |

La valeur de r calculée, est naturellement moindre pour un même poids final si l'on se réfère à une hypothèse de valeur continue plutôt que discontinue.

De ces calculs, il ressort, d'après BLACKMAN V.H. (I9I9), que la différence de poids final peut, en fin de compte, dépendre du poids de la graine au départ. Si la valeur de r reste constante, le poids final variera alors directement en fonction du poids initial. Ceci montre l'importance de prendre en considération le poids des semences au départ. De même, si les poids initiaux sont les mêmes, une petite différence dans la valeur de r fera apparaître une différence marquée à la récole totale : cette dernière augmentera avec la durée de la période de croissance. Le taux d'intérêt peut être très variable selon les plantes : on calcule expérimentalement des r de I7,6 % pour Hélianthus sp. et de IO,4 % pour l'espèce H. cucuméri-folius nanus en particulier.

Pour BLACKMAN V.H. , r est une constante physiologique très importante et représente l'efficience de la plante en tant que producteur de nouvelle matière ; r donne en réalité une

mesure de l'économie de la plante au travail. BLACKMAN R. propose d'appeler r l'index d'efficience de la production de matière sèche. C'est le terme exponentiel de l'équation de GREGORY (1917) qui explicite la relation entre le poids initial, poids final et période de croissance. Ce terme peut donc être appelé coefficient d'efficacité de la plante. Les indices dont nous allons discuter maintenant, proviennent tous, à l'origine, des travaux de GREGORY et BLACKMAN; c'est pourquoi, il est apparu intéressant de leur consacrer une large place afin de mieux comprendre la nature et le rôle que peuvent revêtir ces indices dans l'étude de la croissance des végétaux.

a - Vitesse relative de croissance (R ou RGR : relative growth rate)

Ce critère est très proche de l'explication de BLACKMAN 1919 comparant l'évolution de la croissance au taux d'intérêt du capital Mais c'est FISHER en 1920 qui a expliqué dans le détail la dérivation de cette formule pour le R moyen.
En effet, le RGR d'une plante à un instant t est défini comme l'augmentation du matériel végétal (W) et par unité de temps. C'est-à-dire :

$$RGR = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} (\text{Log } W) \qquad (1)$$

Il s'ensuit de l'équation (1) que le R moyen ($\bar{R}$) sur une période de temps allant de $t_1$ à $t_2$ est donné par :

$$\bar{R} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{W} \cdot \frac{d\,W}{dt} \, dt \qquad (2)$$

Or, cette équation n'est intégrable que si nous posons l'hypothèse que W varie sans discontinuité durant la période allant de $t_1$ à $t_2$. On peut alors écrire comme le propose FISHER dans sa démonstration :

$$\bar{R} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{W_1}^{W_2} d \, (\text{Log } W)$$

ou en intégrant :

$$\bar{R} = \frac{\text{Log } W2 - \text{Log } W1}{t_2 - t_1} \qquad (3)$$

De plus, si la croissance est exponentielle, c'est-à-dire de la forme

$$W = B\ e\ Y^{t} \quad \text{où} \quad B \text{ et } Y \text{ sont des constantes}$$

il peut être montré que non seulement le $\bar{R}$ est donné par l'équation 3 mais aussi que R tient cette valeur à travers toute la période de $t_1$ à $t_2$ .

En fait, l'erreur de quelques chercheurs est de différencier $\bar{R}$ sur une période et R à travers une période, si la croissance a été vérifiée comme exponentielle; or, cela n'est pas nécessaire car la valeur de $\bar{R}$ est donnée d'une manière très générale par (3) sans contrôle de l'évolution de W ou R avec le temps, dès l'instant où la croissance est continue dans l'intervalle considéré.

Cette valeur de R peut d'ailleurs être calculée pour n'importe quel organe de la plante à l'aide de (3) par exemple la surface foliaire (A) sur l'intervalle $t_1$ à $t_2$ donnera :

$$R_A = \frac{\text{Log } A_2 - \text{Log } A_1}{t_2 - t_1}$$

Il a été montré d'ailleurs que A et W peuvent être en général reliés linéairement mais parfois la relation est plus complexe. Par exemple, W peut être lié au carré de A ou à une puissance supérieure dans certaines circonstances (EVANS et HUGUES 1962). La relation générale entre A et W devient alors :

$$W = a + b\ A^{\alpha}$$

où a et b sont des constantes et au cas où a est négligeable $\alpha$ est le rapport entre R total et $R_A$ (MYERSCOUGH 1962).

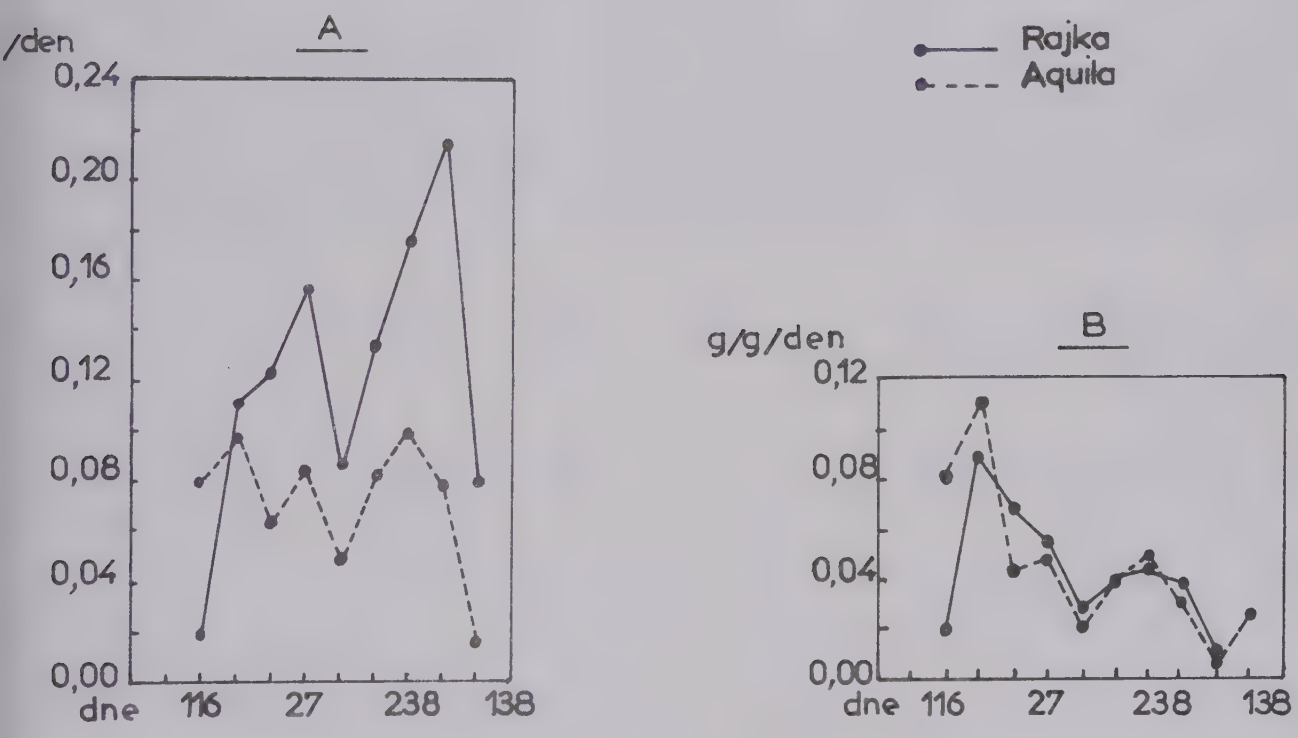
$$\alpha = \frac{R}{R_A}$$

En fait $\alpha$ décrit alors la relation allométrique entre A et W. Le problème important qui se pose en matière de pomme de terre tient à ce qu'une grande partie de la matière sèche totale, parfois la plus grande, est formée par des organes auxiliaires non productifs: les tubercules. Comme le montre le graphique I d'après NECAS l'exclusion de cette matière sèche non productive permet une comparaison meilleure surtout, par exemple, dans l'étude des variétés. Ce problème se retrouve évidemment pour les plantes à bulbes et à rhizomes et les plantes ligneuses.

Graphique N°1

Graphique d'après J.NECAS

Vitesse moyenne de croissance des touffes de la variété précoce RAJKA et de la variété tardive AQUILA en 1962.




A : se rapportant à 1g de matière séche de la touffe sans les tubercules.

B : se rapportant à 1g de matiere séche de la touffe sans les tubercules.

b - Le taux d'assimilation nette ou N A R (net assimilation rate = E)

Le critère NAR provient, à l'origine, de la détermination du taux moyen d'augmentation du poids sec d'une plante par unité de surface foliaire. Nous avons vu que GREGORY (1918) a été l'un des premiers à faire des études de cette nature, mais les essais étaient faits pour calculer le RGR d'une plante; BLACKMAN V.H. avait proposé le terme d'index d'efficience pour intégrer les différents aspects du facteur "environnement", en montrant que la valeur de r, tout en étant une bonne caractéristique des différentes espèces et variétés, présentait de larges variations sous les effets du milieu extérieur, mais qu'il y avait une complication du fait que cette notion était liée au temps. BRIGG, KIDD et WEST (1920) montrèrent alors que le taux de surface foliaire évoluait en fonction des stades de développement, tandis que le taux moyen d'augmentation de la matière sèche par unité de surface foliaire se maintenait constant sur des périodes importantes dans le cycle de vie des plantes annuelles. Pour tenir compte de cela, ils proposèrent le terme de "Unit leaf rate" avec le symbole E. Ils ont ainsi introduit des données complémentaires dans l'analyse, en utilisant la surface foliaire et en fractionnant le RGR en deux composantes pouvant être étudiées séparément. Nous avons ainsi :

$$RGR = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} \qquad \text{(Relative Growth Rate)}$$

$$LAR = \frac{A}{W} \qquad \text{(Leaf Area Ratio)}$$

$$E = \frac{1}{A} \cdot \frac{dW}{dt} \qquad \text{(Unit leaf Rate)}$$

Il s'ensuit que le NAR moyen ou $\overline{E}$ est donné par :

$$\overline{E} = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{A} \cdot \frac{dW}{dt} \, dt$$

Mais cette relation ne peut être intégrée directement, à moins que :

1 - la relation entre A et W soit connue ;
2 - la relation entre A et t et W et t soit connue. Ce problème a été résolu en étudiant de près la relation entre A et W.

En général, en absence d'information entre les récoltes à $t_1$ et $t_2$ il est commode comme pour le RGR de présumer une relation linéaire entre A et W. Dans ce cas, la ligne doit passer par les points de coordonnées $A_1$ $W_1$ et $A_2$ $W_2$ son équation étant alors de la forme :

$$W = C + \left[ (W_2 - W_1) \Big/ (A_2 - A_1) \right] A \qquad (4)$$

où C est une constante. On a alors :

$$\frac{dW}{dA} = \frac{(W_2 - W_1)}{(A_2 - A_1)} \qquad (5)$$

et en substituant pour $\frac{dW}{dt}$ dans l'équation (4) on obtient :

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dA}{dt} \cdot \frac{dW}{dA}$$

Et nous pouvons écrire :

$$\bar{E} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{A} \cdot \frac{dA}{dt} \cdot \frac{dW}{dA} \, dt$$

Ce que nous pouvons écrire en fonction de (5)

$$\bar{E} = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{A_1}^{A_2} d \ (\text{Log } A) \qquad \text{d'où}$$

$$\bar{E} = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} \cdot \frac{(\text{Log } A_2 - \text{Log } A_1)}{(t_2 - t_1)} \qquad (6)$$

Les seules contraintes nécessaires pour arriver à justifier cette formule étant que :

1 - sur la période complète de $t_1$ à $t_2$ , A et W soient liés linéairement.
2 - que A et W ne soient pas des fonctions discontinues en fonction du temps.

Ce problème de la relation entre W et A a été très bien étudié par WILLIAMS L. (1936) qui donne une intégrale de la forme linéaire $W = a + bA$ où a et b sont deux constantes; COOMBE (1960) à partir de notes non publiées de BRIGGS, donne une valeur quadratique $W = a + bA^2$ Ces deux fonctions ont été longtemps les seuls guides pour chercher une relation entre W et A. EVANS et HUGUES (1962) se demandent si le problème n'est pas résolu en démontrant que $W = aA^n$ (où a est une constante). En fait, ces incertitudes au sujet de la théorie de base pour le calcul de E, donc du NAR, sont peu importantes quand la précision des déterminations est de l'ordre de 8 à 10%, mais cela devient plus sérieux pour des précisions inférieures à 5%. C'est pourquoi, ces deux auteurs ont cherché à fournir un guide quant à la sélection la plus probable des valeurs de NAR afin d'aider dans l'estimation de l'erreur admise comme probable en fonction de l'incertitude. Ils proposent 3 méthodes de calcul en définissant pour chacune d'elles les critères de choix en fonction des valeurs de n. Ils ont pour cela étudié divers moyens de calcul de E pour différentes séries de cas donnés par $W = a + bA^n$, et ceci, pour toutes les valeurs positives de n.

1°) Dans le cas où l'on possède les résultats d'une longue série de récoltes, il est préférable de calculer une valeur de n avec suffisamment de précision par une méthode d'approximations successives en faisant le graphique qui consiste à porter en ordonnée les poids secs et en abscisse les surfaces foliaires jusqu'à obtention d'une relation linéaire, ce qui revient à dire que $n = \frac{RW}{RA}$

BRIGGS et WEST, dans des notes non publiées (1920) citées par EVANS et HUGUES, ont montré que si n est voisin de 1 et que a présente une valeur négligeable, la droite passe par l'origine.

2°) Si le nombre de récoltes est petit et qu'il apparaît que les valeurs de n seront supérieures à 1, il est préférable de procéder par calcul en réunissant les valeurs de récoltes de 1 à 3, puis de 2 à 4, par exemple. Il convient alors de procéder comme suit, si l'on a $W_1$, $W_2$, $W_3$ comme poids secs et $A_1$, $A_2$, $A_3$ comme surfaces foliaires correspondantes : nous calculons les valeurs de P, Q et Z, telles que :

$$P = \frac{A_2}{A_1} \quad ; \quad Q = \frac{A_3}{A_1} \quad ; \quad Z = \frac{W_3 - W_2}{W_2 - W_1} \quad ;$$

Il peut être montré alors que (calcul du Prof. F. SMITHS de Cambridge) :

$$Q^n - (1 + Z) P^n + Z = 0 \qquad (7)$$

Les différentes valeurs de n sont prises et représentées graphiquement; le point où la courbe passe au zéro donne la bonne valeur de n (on porte en abscisseles grandeurs de n et en ordonnée les résultats correspondant à l'équation 3). Cette méthode, d'après NECAS (1966), ne peut être utilisée avec succès que dans les cas où les plantes récoltées ont une croissance continue, c'est-à-dire sans variations importantes provoquées par des influences défavorables. Au cas où des grandeurs de cet ordre se présenteraient, il faudrait les exclure et si possible prolonger l'intervalle correspondant.

3°) Dans le cas favorable où il est connu que la relation entre W et A est faible, on peut évaluer n à partir de :

$$n = 1 + \frac{\text{Log}\left[\frac{W_3 - W_2}{A_3 - A_2}\right]\left[\frac{A_2 - A_1}{W_2 - W_1}\right]}{\text{Log}\left[\frac{A_2 + A_3}{A_1 + A_2}\right]}$$

En cas de doute, on vérifie alors par la méthode (2).

Les procédés de calcul 2 et 3 sont en général à préférer car ils permettent d'estimer n avec précision, par étapes successives et non pas par approximation graphique en posant l'hypothèse d'une relation plus ou moins linéaire. Le calcul de n a été étudié de façon très complète par F.H. WHITEHEAD et P.J. MYERSCOUGH (1962) dans le cas d'analyses nécessitant une très grande précision notamment pour l'analyse de la variation de la valeur de n en fonction de la lumière (intensité).

NECAS (1965) arrive à la conclusion qu'on ne peut considérer que 3 formes de calcul d'équation de NAR en fonction de la valeur de n.

1°) Si n est peu différent de 1, on peut supposer un rapport linéaire entre le taux de matière sèche et la surface foliaire totale; on remplit dans ce cas la condition de l'utilisation de l'équation:

$$E_1 = \frac{(W_2 - W_1)\ (\text{Log } A_2 - \text{Log } A_1)}{(A_2 - A_1)\ \ (t_2 - t_1)}$$

Ce qui amène à l'hypothèse ;

$W = c + bA$

2°) Si n prend des valeurs situées entre 1,5 et 2,5, le rapport entre W et A prend une forme quadratique; il est alors préférable d'utiliser l'équation :

$$E_2 = \frac{2\ (W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)\ (A_2 - A_1)}$$

Ce qui revient à l'hypothèse :

$W = c + b\ A^2$

3°) Lorsque le rapport entre W et A, prend d'autres formes que celles qu'il a normalement, lorsque n est compris entre 0,5 et 2,5 dans la formule générale $W = a + bA^n$ et lorsque a et b ne restent pas tout à fait constants, il sera utile d'avoir recours à une méthode graphique. Celle-ci tient compte du fait que les courbes d'accroissement de W et A sont sous la dépendance du temps : nous devons alors déduire les deux valeurs primaires afin de trouver le début et la fin de l'intervalle choisi et insérer le résultat dans l'équation :

$$E_3 = \frac{W_2 - W_1}{A\ (t_2 - t_1)}$$

A restant à peu près constant dans l'intervalle $W_1 - W_2$.

En fait pour le cas 3, RADFORD 1967, propose deux autres équations en fonction des hypothèses de la relation entre A et W.

Soit : si $W = c + b\ A^n$ où $n \neq 2$, on a alors :

$$\bar{E} = \frac{n}{n - 1} \cdot \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \cdot \frac{A_2^{n-1} - A_1^{n-1}}{A_2^n - A_1^n} \qquad (10)$$

soit : si $W = c + bA + dA^2$, on a alors :

$$E = \frac{b\ (\text{Log } A_2 - \text{Log } A_1)}{(t_2 - t_1)} + \frac{2\ d\ (A_2 - A_1)}{(t_2 - t_1)} \qquad (11)$$

ou n, b, c et d sont des constantes. En réalité, on pourrait admettre que 9 est un cas spécial de 10, et 8 et 9 sont des cas spéciaux de 11.

Le calcul de NAR s'avère donc très délicat. Par ailleurs, ce critère d'efficience de la photosynthèse est lié linéairement au logarithme de l'intensité lumineuse durant la saison de croissance active (en automne cette relation n'existe plus). En fait, le NAR traduit la capacité des feuilles à produire de la matière sèche, mais du fait de l'augmentation mutuelle de l'ombrage des feuilles des unes sur les autres, le NAR est corrélé négativement avec le L A I et en conséquence avec tous les facteurs augmentant le L A I comme l'eau, le niveau d'azote, l'ombrage, etc..... D'où logiquement une habituelle diminution du NAR durant la croissance et le développement d'une plante.

c- Durée d'activité de la surface foliaire ou LAD (Leaf Area Duration)

Ce critère représente le volume de végétation utilisé par le rayonnement solaire en vue de l'assimilation. Le LAD est calculé, en général, en effectuant le produit de la surface foliaire moyenne par le nombre de jours durant lesquels les feuilles sont restées fonctionnelles pour la plante.

$$LAD = M = \int_{t_2}^{t_1} A\ dt$$

d- La surface foliaire moyenne ou LAR (Leaf Area Rate) ou F

Elle se calcule à partir du rapport $F = \frac{A}{W}$ et donne la capacité moyenne de l'appareil photosynthétique entier de la plante. Son comportement durant la végétation est un moyen d'approche du calcul de NAR par rapport à la surface foliaire, mais la valeur de n dans l'équation $W = a + bL^n$ l'indique de manière beaucoup plus précise.

Comme nous l'avons vu dans l'étude du NAR, il est possible d'établir un rapport entre le RGR et le NAR par l'équation : R = E. F; cette formule peut être utilisée, d'après NECAS, surtout lors de l'analyse de l'influence de facteurs extérieurs sur la productivité des plantes, et il propose un calcul de F selon l'équation :

$$F = \frac{A}{W} = \frac{A}{W\ flls} \cdot \frac{W\ flls}{W} \qquad (12)$$

ou W flls = Poids sec des feuilles.

Le LAR caractérise en fait la taille de l'appareil assimilateur de la plante et devient ainsi une mesure intéressante de la différence entre deux plantes sur lesquelles on a fait intervenir différents facteurs génétiques ou agronomiques.
A partir de (12) on peut écrire la valeur de $\overline{F}$ comme pour $\overline{R}$ et $\overline{E}$

$$\overline{F} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{A}{W}\, dt$$

Comme dans les cas précédents, cette intégration n'est possible que si l'on connait la relation entre A et W ou si les relations entre A et t et W et t sont connues.
Pour ce calcul KVÊT et SVOBODA en 1969 suggèrent pour le calcul de F la formule suivante :

$$\overline{F} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} A\, dt}{\int_{t_1}^{t_2} W\, dt} = \frac{M}{Z} = \frac{LAD}{BMD}$$

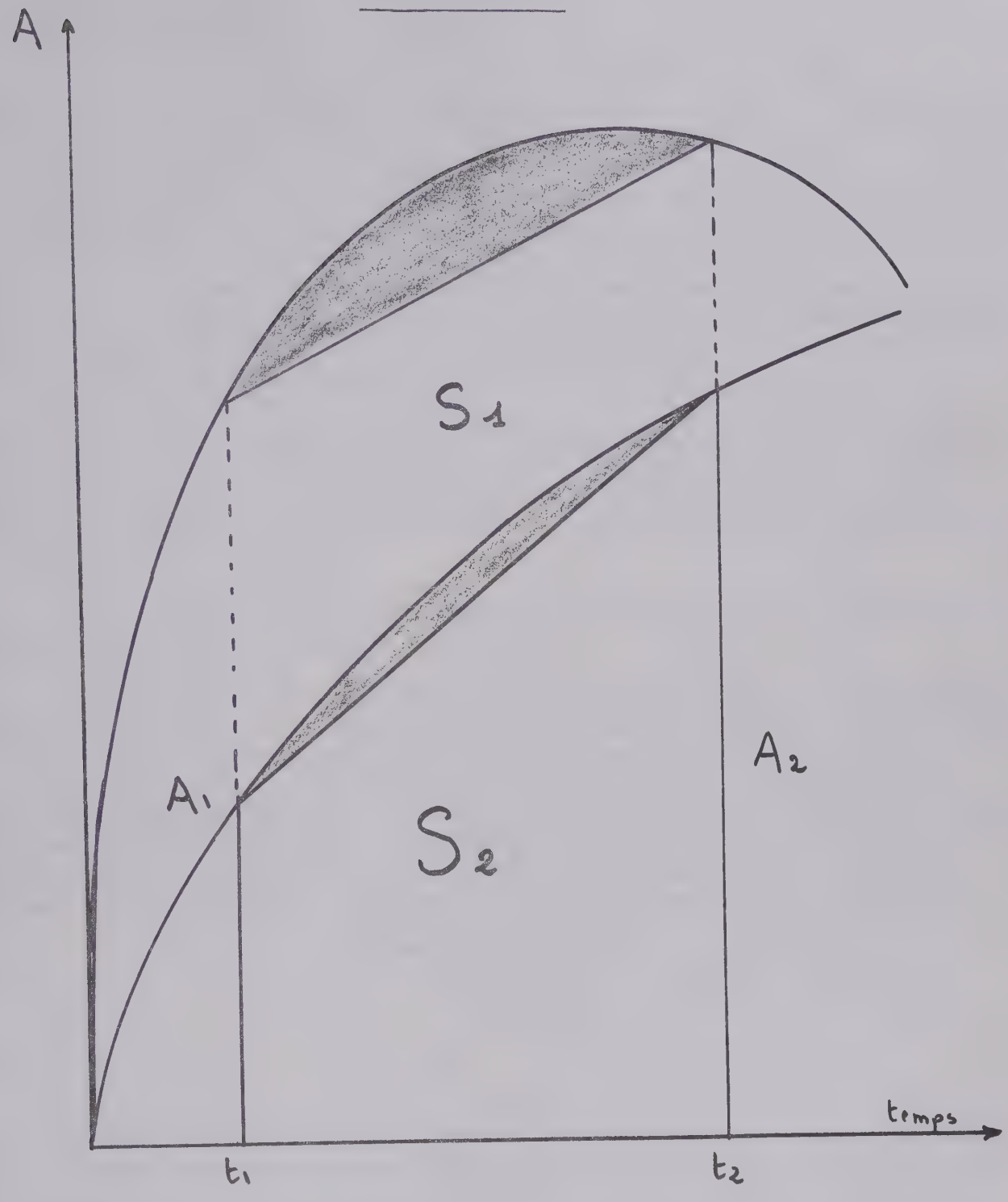
Le BMD ou biomass duration est une notion introduite par KVÊT en 1962 et discutée par le même auteur en 1971.

$$B\ M\ D = Z = \int_{t_1}^{t_2} W\, dt$$

L'intégration de Z et M peut être accomplie par méthodes numériques ou graphiques. KVÊT estime (1971) M et Z comme des surfaces sous la courbe de croissance de W et A et calculées durant l'intervalle $t_1$ à $t_2$ - SESTAK et CATSKY 1972 n'estiment pas toutefois parfaitement correcte l'intégration graphique de KVÊT et FIALA 1969 qui assimilent la surface sous la courbe à un trapèze et calculent cette surface selon :

$$D = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot (t_2 - t_1)$$

GRAPHIQUE N° 2




Dans le cas de $S_2$ la droite suit de près la courbe, mais en $S_1$ l'écart est plus important et peut conduire à des erreurs sensibles si on recherche des calculs précis comme ONDOK 1970.

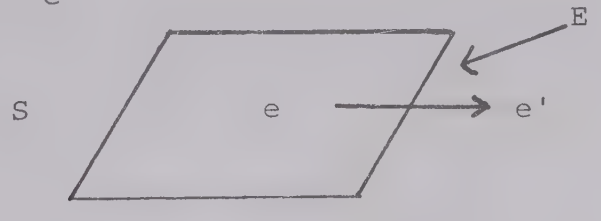
## e - Couverture foliaire ou LAI (Leaf Area Index)

Indique à un moment donné le rapport entre la surface foliaire de la plante et la surface de sol qui lui est affectée. Cet indice, d'après NECAS, est utile pour l'appréciation des variétés, la comparaison de procédés phytotechniques en ce qui concerne le recouvrement de la surface du sol par la surface foliaire. Ce problème est effectivement important, non seulement du point de vue de l'utilisation optimale du rayonnement solaire, mais aussi en ce qui concerne la projection d'ombre sur les mauvaises herbes, l'évaluation de la surface végétale évaporante et de l'obstacle à l'évaporation par le sol.

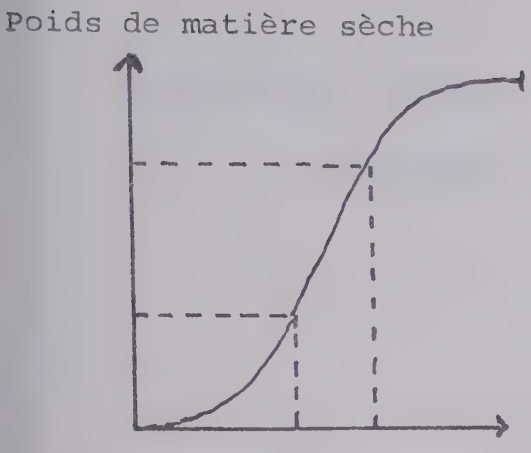
D'après BOURDU (note de cours) c'est WASTSON qui, en 1947, montre que le LAI est en rapport direct avec la productivité et qu'il présente toujours un maximum qui apparaît plus ou moins tôt. Mais on a en général un maximum de production pour un LAI optimum qui n'est pas le LAI maximum.

Il peut sembler intéressant, comme le souligne BOURDU, de distinguer productivité et rendement.

Le rendement est en quelque sorte le rapport de l'énergie fournie (solaire ou lumineuse) à l'énergie accumulée. Cette notion a été étendue au rapport de l'énergie fournie à l'énergie effectivement utilisée par l'homme. Si on a E = énergie fournie à une surface végétale S et e = énergie accumulée par les végétaux, le rendement est $\frac{E}{e}$ ; mais l'homme utilise une partie e' de e pour son alimentation et l'on peut définir un rendement à l'échelle humaine par $\frac{E}{e'}$ ce qui peut se schématiser de la façon suivante :




La productivité est, en fait, tout autre chose : c'est la quantité de matière organique formée sur une unité de surface en une unité de temps. Si l'on applique cette notion à un individu, on peut considérer que sa productivité est l'expression de sa vitesse de croissance : c'est l'augmentation de quantité de matière sèche observée en une unité de temps.




$$\text{Surf.} \times \int_{t_o}^{t} \text{récolte} \qquad \frac{dp}{dt} = \text{Production}$$

$$\text{mais } \frac{dP}{dt} = \text{Vitesse de croissance rapportée à l'unité de surface}$$

GRAPHIQUE N° 3

On peut distinguer 2 types de productivité :

- la productivité primaire brute = photosynthèse brute ou totale = assimilation totale;

- la productivité primaire nette = photosynthèse apparente = assimilation nette;

en rappelant que la photosynthèse nette = photosynthèse brute - respiration.

Nous citerons quelques chiffres de productivité extraits du cours de BOURDU, pour préciser les ordres de grandeurs de ces valeurs pour quelques plantes.

POMME DE TERRE

a) Moyenne mondiale

| | | |
|---|---|---|
| Période de croissance | (P.C.) | 2,60 g/m$^2$/jour |
| Sur un an | (1 an) | 1,10 g/m$^2$/jour |

b) En Hollande

| | |
|---|---|
| P.C. | 5,60 g/m$^2$/jour |
| 1 an | 2,31 g/m$^2$/jour |

BETTERAVE A SUCRE

a) Moyenne mondiale

| | |
|---|---|
| P.C. | 4,3 $g/m^2$/jour |
| 1 an | 2,1 $g/m^2$/jour |

b) En Hollande

| | |
|---|---|
| P.C. | 8,2$g/m^2$/jour |
| 1 an | 4,03$g/m^2$/jour |

CHORELLES (cultures en masse à Tokio-dehors)

| | |
|---|---|
| P.C. | 12,4 $g/m^2$/jour |
| 1 an | 12,4 $g/m^2$/jour |

Ces quelques exemples de productivité permettent de mettre en évidence l'intérêt d'une espèce végétale par rapport à une autre en temps que producteur de matière organique.

## 4 - ETUDE DE LA CROISSANCE SUR L'ESSAI de ST-GERMAIN 1968

a/ Méthodologie et résultats obtenus

Dans cet essai, en complément des rendements et des hauteurs de fanes déjà exploités au chapitre V du volume annexe, diverses mesures ont été réalisées uniquement sur la 2ème date de plantation qui représente la culture traditionnelle.

A chaque date d'arrachage, 5 plantes ont été prélevées pour estimer la matière sèche des tiges, feuilles, pétioles, racines et tubercules, afin de déterminer les principales caractéristiques de croissance. Ce travail important n'a pas apporté ce que l'on aurait pu en attendre, car la variation du matériel est grande et il faudrait travailler sur au moins 10 plantes. NECAS propose, quant à lui, dans ses contrôles d'allométrie, de travailler globalement sur 16 plantes pour obtenir une précision de 5 % sur l'écart type. Néanmoins ce travail permet, malgré ses imperfections, de comparer les deux techniques étudiées et de voir que cela correspond assez bien avec l'évolution des rendements observés; cela souligne, s'il en était besoin, le rôle important de la photosynthèse dans le grossissement des tubercules.

A partir des éléments figurant au tableau I, nous avons effectué différents calculs.

- Calcul du LAI : les résultats figurent au tableau II

TABLEAU II

| | Dates de récolte | 25 jours | 45 jours | 65 jours |
|---|---|---|---|---|
| Chimique | 7/6 | 1,03 | 1,14 | 1,08 |
| | 4/7 | 3,25 | 3,34 | 2,88 |
| | 19/7 | 3,95 | 4,13 | 4,16 |
| Mécanique | 7/6 | 0,711 | - | 1,24 |
| | 4/7 | 2,77 | - | 2,50 |
| | 19/7 | 4,58 | - | 4,56 |

POIDS SEC DES DIFFERENTS ORGANES POUR 1 TOUFFE (en grammes)

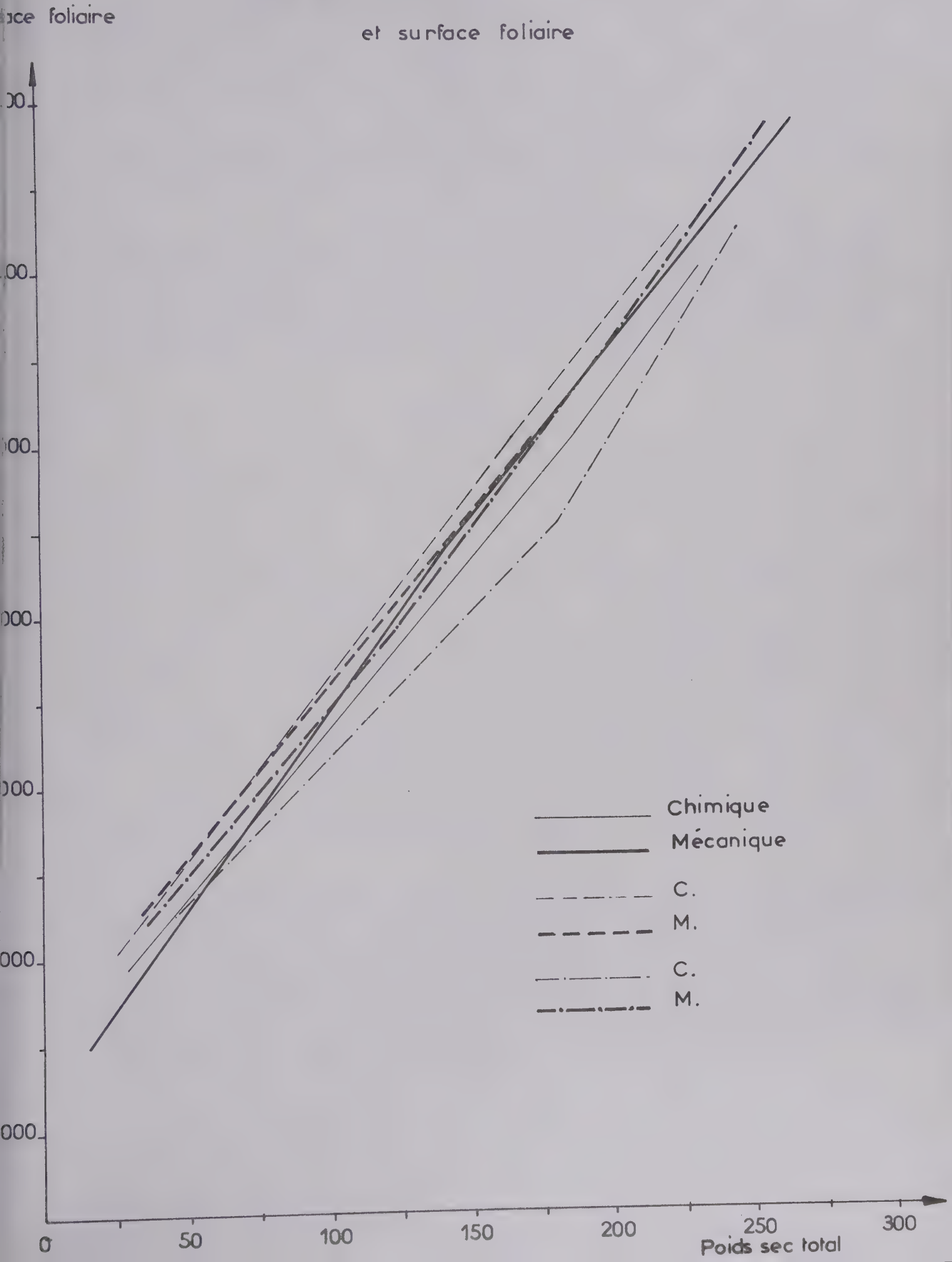
| | | Dates | Poids des feuilles | Surface foliaire (en cm2) | Poids des tiges | Poids des pétioles | Poids des racines | Poids des tubercules | Poids total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 25 JOURS | Chimique | 7/6 | 11,683 | 2.888,8 | 6,630 | 1,923 | 1,673 | 6,613 | 29,401 |
| | | 4/7 | 36,383 | 9.128,2 | 29,463 | 5,773 | 1,600 | 113,323 | 186,932 |
| | | 19/7 | 26,613 | 11.089,4 | 35,963 | 5,843 | 1,970 | 161,860 | 232,509 |
| | Mécanique | 7/6 | 7,613 | 2.011,6 | 4,010 | 1,066 | 1,260 | 1,576 | 16,362 |
| | | 4/7 | 29,156 | 7.760,9 | 29,940 | 6,050 | 1,390 | 72,983 | 139,915 |
| | | 19/7 | 30,243 | 12.833,1 | 38,830 | 7,033 | 1,736 | 186,500 | 264,594 |
| 45 JOURS | Chimique | 7/6 | 10,933 | 3.199,33 | 6,211 | 1,887 | 1,543 | 5,580 | 27,631 |
| | | 4/7 | 31,403 | 9.368,40 | 29,436 | 6,000 | 1,626 | 104,240 | 173,067 |
| | | 19/7 | 30,510 | 11.569,00 | 26,890 | 5,790 | 1,515 | 160,750 | 225,455 |
| | Mécanique | 7/6 | 11,723 | 3.480,20 | 7,053 | 2,243 | 1,710 | 8,970 | 32,704 |
| | | 4/7 | 33,253 | 9.038,80 | 30,306 | 6,505 | 1,533 | 99,536 | 171,491 |
| | | 19/7 | 20,236 | 7.156,40 | 23,396 | 4,663 | 1,423 | 39,666 | 89,384 |
| 65 JOURS | Chimique | 7/6 | 12,346 | 3.047,10 | 6,540 | 1,616 | 1,793 | 8,780 | 31,964 |
| | | 4/7 | 32,250 | 8.073,80 | 25,020 | 6,503 | 1,596 | 114,860 | 180,651 |
| | | 19/7 | 32,476 | 11.652,80 | 33,196 | 6,630 | 1,516 | 171,833 | 245,949 |
| | Mécanique | 7/6 | 13,970 | 3.487,10 | 8,330 | 1,786 | 1,740 | 8,920 | 36,038 |
| | | 4/7 | 22,306 | 7.020,20 | 27,953 | 4,230 | 1,360 | 69,830 | 126,023 |
| | | 19/7 | 36,173 | 12.777,70 | 40,726 | 7,870 | 1,686 | 169,960 | 256,718 |

TABLEAU n° I

Graphique N°4

Etude de la relation entre matière sèche

et surface foliaire



- Calcul du RGR et du NAR : Le calcul de n, selon la formule 3 de la page 35 , nous conduit à une valeur moyenne voisine de 1,3 alors que le calcul de n, selon la formule 1, nous amène, pour 27 jours, à une moyenne voisine de 1,6 et pour 15 jours, de 1,1. Ce qui donne bien effectivement une valeur moyenne voisine de 1,3.

Le graphique II nous montre d'ailleurs l'existence d'une relation de type linéaire très nette entre la surface foliaire et le poids total de matière sèche.

En fait, le calcul du NAR s'est avéré assez délicat, car les espaces de temps sur lesquels nous avons travaillé sont éxagérément longs; en effet, pour un écart de 15 jours à un moment où la croissance est plus réduite, on obtient une bonne concordance des valeurs de NAR selon les différentes méthodes de calcul comme le montrent les résultats cités dans le tableau III.

TABLEAU III

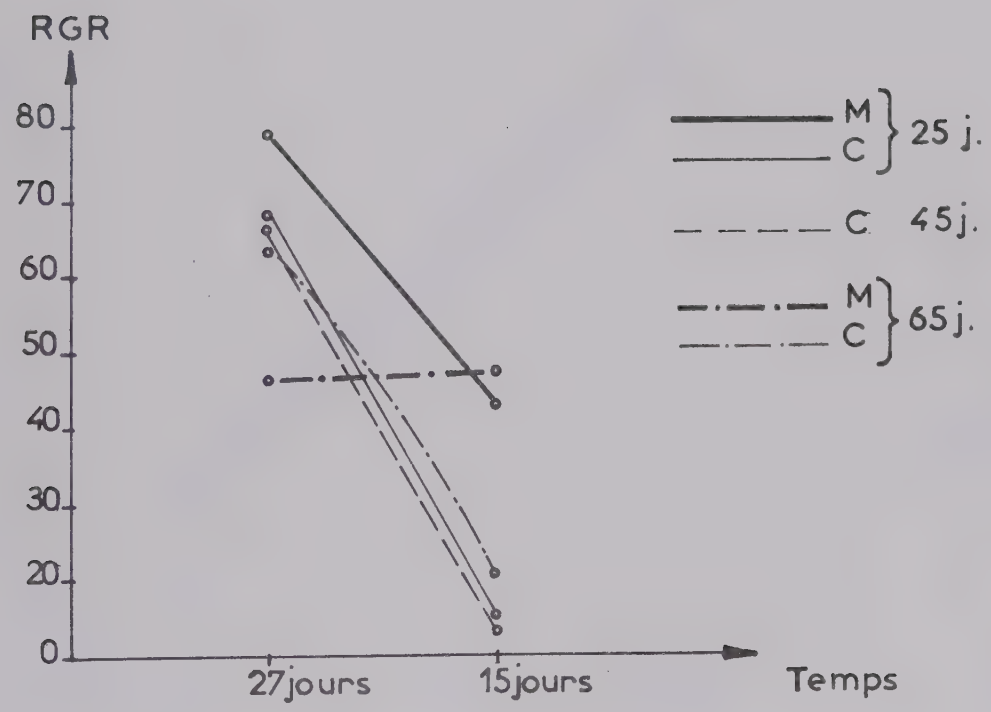
Calcul de la valeur de E selon les 3 méthodes possibles

| | | E 1 | E 2 | E 3 |
|---|---|---|---|---|
| 25 jours | Chimique | 0,030 | 0,030 | 0,029 |
| | Mécanique | 0,081 | 0,080 | 0,080 |
| 45 jours | Chimique | 0,021 | 0,021 | 0,021 |
| 65 jours | Chimique | 0,044 | 0,044 | 0,043 |
| | Mécanique | 0,090 | 0,088 | 0,092 |

Mais, pour 27 jours, les écarts de valeurs sont considérables et vont de 0,0177 à 0,097, selon la méthode choisie; nous avons donc retenu, pour 27 jours, le calcul de n pour une valeur prise entre 1,5 et 2,5 puisque nous avons trouvé une valeur n = 1,6. Il faut toutefois noter que, si les écarts en valeurs absolues sont grands, les valeurs relatives entre les techniques restent les mêmes, quelle que soit la formule choisie. L'ensemble des valeurs calculées pour RGR et NAR figurent au tableau IV.

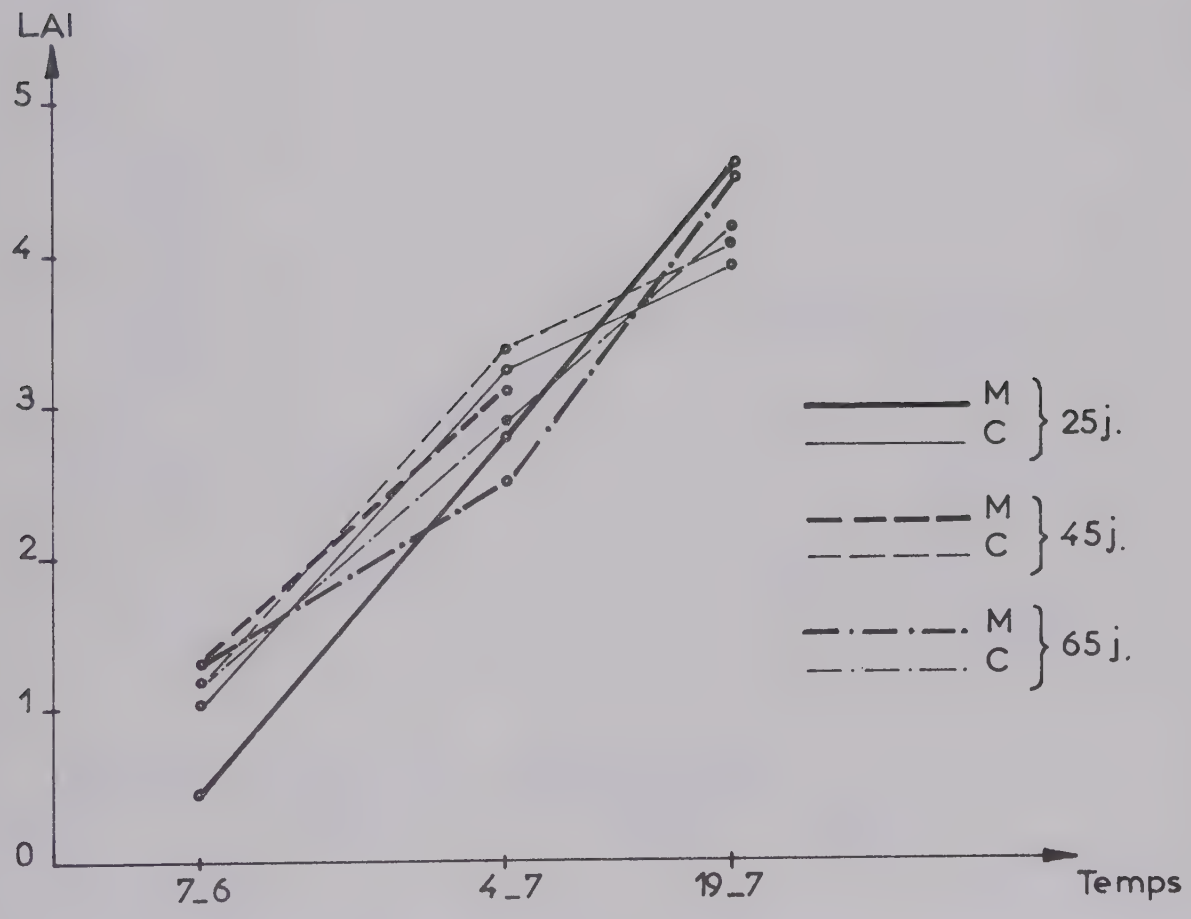
Graphique N°5

Evolution du RGR



Graphique N°6

Evolution du LAI



Graphique N°7
Evolution du NAR

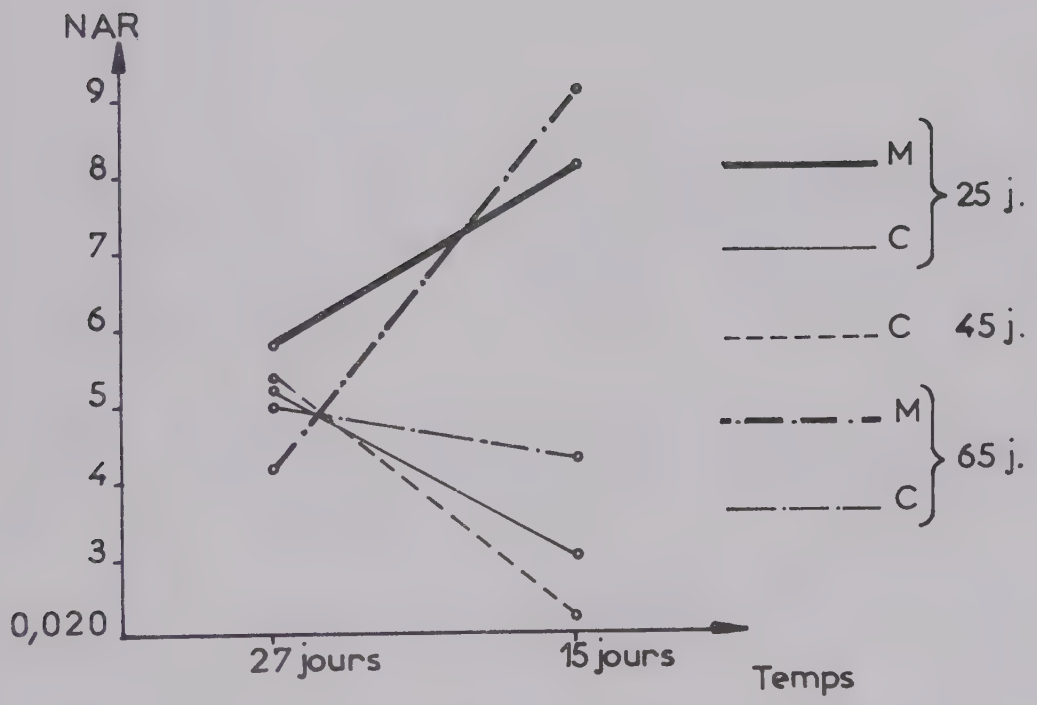


TABLEAU IV

CALCUL du RGR, NAR et LAR

| | | 25 jours | | | 45 jours | | | 65 jours | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | RGR | NAR | LAR | RGR | NAR | LAR | RGR | NAR | LAR |
| Chimique | 27 jours | 0,068 | 0,052 | 1,31 | 0,067 | 0,053 | 1,27 | 0,064 | 0,051 | 1,25 |
| | 15 jours | 0,014 | 0,030 | 0,46 | 0,011 | 0,021 | 0,52 | 0,020 | 0,044 | 0,45 |
| Mécan. | 27 jours | 0,079 | 0,058 | 1,36 | 0,061 | 0,050 | 1,22 | 0,046 | 0,041 | 1,12 |
| | 15 jours | 0,042 | 0,081 | 0,52 | - | - | - | 0,047 | 0,092 | 0,47 |

b/ Discussion des résultats obtenus

Quelques auteurs ont montré l'intérêt des façons culturales et du désherbage chimique combinés. AMME (1966) signale l'intérêt de cette combinaison pour les variétés tardives comme Spatz, Galincle et Zeisig, et comme nous, constate que les façons culturales limitent la précocité, mais il ne donne aucune explication.

RIOUX et COMEAU en 1971, en travaillant sur la variété Nordland, arrivent aux mêmes conclusions que AMME et nous-mêmes, à savoir :

- intérêt des façons culturales combinées au désherbage chimique ;
- accélération de la précocité de tubérisation pour les cultures à plat non travaillées après la levée et désherbées chimiquement.

Toutes ces données et observations confirment bien l'influence des façons culturales sur la croissance de la plante qui marque un ralentissement après lésions éventuelles. Un des effets essentiels des façons mécaniques, observé, est de modifier le rapport : Poids des tiges/poids des racines, ce qui peut affecter le taux d'assimilation nette et expliquerait ainsi les pertes de rendement relevées après une façon culturale.

Mais, le problème apparait plus complexe pour poser les hypothèses permettant d'expliquer le gain de bilan photosynthétique observé à l'approche de la maturité des fanes, après application des façons mécaniques.
En effet, si nous reprenons les valeurs présentées aux tableaux I et II, nous nous apercevons que le LAI des parcelles travaillées est supérieur à celui des parcelles traitées chimiquement le 19 juillet; ce qui correspond bien à l'époque où les rendements deviennent supérieurs dans les parcelles travaillées. D'autre part,

nous observons que, si le NAR est en régression dans les parcelles traitées chimiquement, il est, au contraire, en augmentation dans les parcelles travaillées, et ce, de façon très notable. Les différences observées de poids de tubercules apparaissent alors justifiées par cet accroissement de l'indice d'efficience de la photosynthèse. Il est à noter aussi (graphiquesI et II de Saclay volume annexe) que la durée de végétation dans les parcelles travaillées est plus longue que dans les parcelles désherbées chimiquement qui arrivent à maturité plus vite, ce qui correspond bien aux observations de AMME (1966). En fait, tout se passe comme si les meurtrissures occasionnées par les outils maintenaient les plantes à un stade donné sans vieillissement physiologique; puis elles repartent en jours de longueur maximum du 1er au 30 juin, d'où une croissance plus intense du système foliaire par rapport au système souterrain dans les parcelles travaillées. Les plantes indemnes de blessures continuent alors, avec un LAI inférieur, une croissance et une tubérisation simultanées commencées en jours plus courts.
Par contre, à partir de la mi-juillet et jusqu'au 15 août, la surface foliaire plus grande (LAI plus important) des parcelles travaillées permet une meilleure efficience de la photosynthèse (NAR plus élevé). D'autre part, nous rentrons, à partir de fin juillet, dans des jours plus courts favorisant la tubérisation (45 minutes de moins entre le 30/7 et le 15/8); or, les pommes de terre désherbées mécaniquement présentent à ce moment là un LAI maximum et une végétation en pleine activité.
Au contraire, les pommes de terre désherbées chimiquement ont, à la même époque, un LAI plus faible et arrivent à un début de maturité qui ne permet pas à ces plantes de bénéficier pleinement de la diminution de longueur du jour, élément important d'une bonne tubérisation.

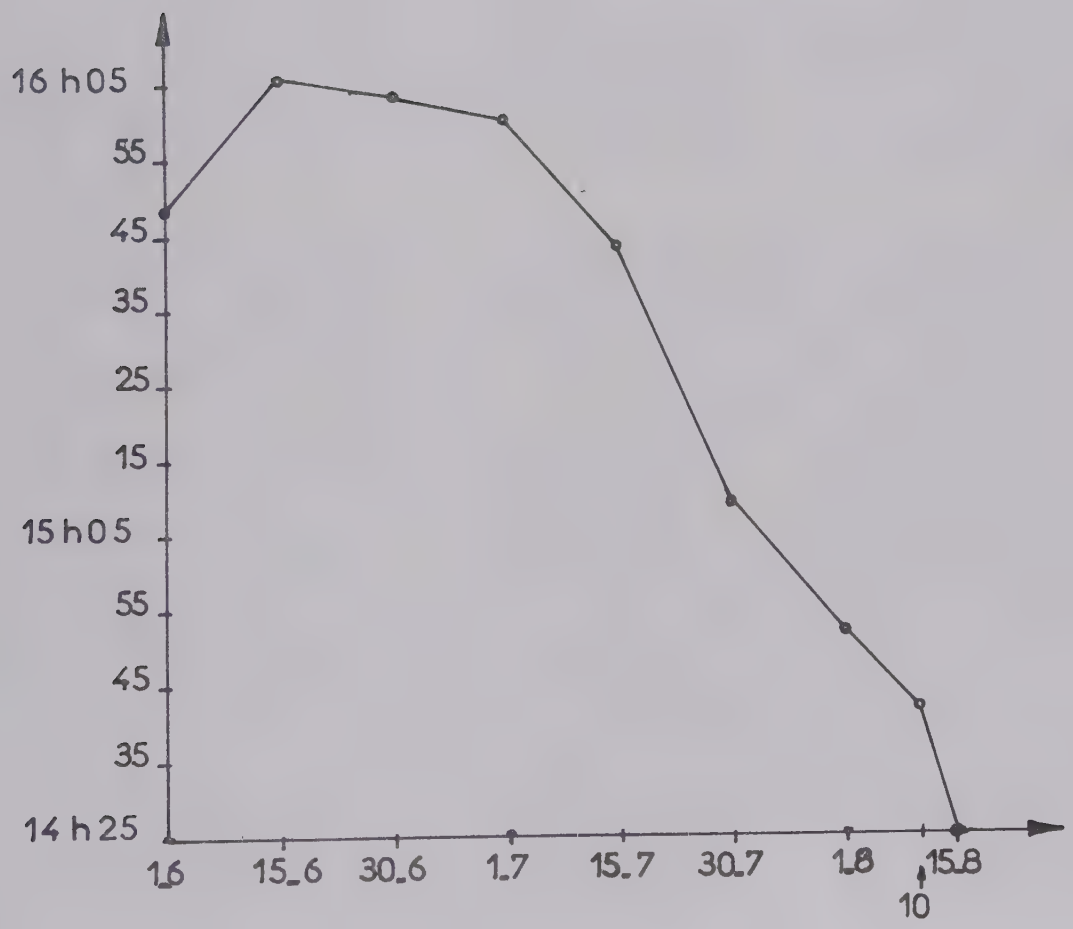
Cette relation surface foliaire-indice de maturité peut éventuellement expliquer les rendements supérieurs observés dans les parcelles travaillées mécaniquement.

Mais en fait, tous ces calculs tout en permettant une approche un peu plus fine de l'explication des phénomènes observés n'apportent pas pour autant une réponse aux questions que nous nous posons. Nous avons un peu l'impression que ces méthodes numériques d'évaluation de la croissance n'apportent pas d'éléments réellement nouveaux aux données de départ. Elles sont à notre sens beaucoup plus contemplatives qu'explicatives et constituent plus un exercice de style pour un biologiste qui désire donner une allure compliquée à une expérimentation souvent simple, car les essais multifactoriels sont souvent très délicats à interpréter. Aussi, nous pensons préférable de bien réfléchir au protocole à mettre en oeuvre avant que l'expérience ne commence et surtout de définir les variables explicatives qui seront retenues pour mettre en évidence l'hypothèse posée, et permettre ainsi d'étayer une solide conclusion.

Graphique N°8

Durée de temps entre le lever

et le coucher du soleil



Le travail pratique nécessaire à la mise en oeuvre de ces méthodes est très lourd à moins de disposer d'un personnel important comme sur une station expérimentale. Nous voyons maintenant après usage, assez mal l'apport réel de tout ce travail, qui permet simplement de dire : il y a un bilan photosynthétique favorable ou non pour telle ou telle technique, et encore est-il permis d'avoir des doutes. En effet, par exemple en matière d'essais de pleins-champs, il est absolument nécessaire d'effectuer des prélèvements dans chaque répétition si on veut avoir une idée assez exacte de la précision du travail réalisé. De plus, il est nécessaire dans chaque répétition de prélever un nombre minimum de plantes que NECAS estime à 16 pour obtenir une précision de 5% dans le cas des pommes de terre. Or, a priori, nous ne partageons pas ce point de vue car nos essais classiques nous montrent que pour arriver à cette précision, seulement pour le rendement brut, c'est un minimum de 100 plants qui sont nécessaires. Les seize plantes définies par NECAS le sont sans doute en conditions contrôlées (serres, phytotron) mais certainement pas en plein-champ où de toute manière si on prend un minimum de 4 répétitions cela fait 16 x 4 = 64 plantes à découper, sécher, évaluer la surface foliaire, le poids des racines, etc..... Nous doutons donc que jamais un tel travail ait été fait; jamais une analyse statistique sérieuse des résultats d'essais utilisant ces méthodes n'a été publiée.

L'impression générale qui se dégage de ces travaux est la volonté d'utiliser des méthodes mathématiques précises, malheureusement sur un matériel dont on ne connaît pas la précision et dont la dispersion est grande comme nous avons pu le constater. Nous pensons donc, en matière de pommes de terre et certainement pour beaucoup d'autres espèces, que le rendement plus la hauteur des plantes constituent une approche de bilan photosynthétique valable. Cette façon de procéder est peut être rudimentaire car elle intègre que deux paramètres mais elle a le mérite de la précision au niveau des données enregistrées. Il est en effet aisé sur ces 2 variables de choisir un échantillonnage suffisant en vue de la précision recherchée a priori et non pas évaluée a postériori ou pas du tout comme pour les nombreuses études réalisées sur ce sujet. De plus, pour simplifier le travail d'évaluation des données, de nombreux auteurs échantillonnent et ne sèchent que des morceaux de chaque plante.

Il nous semble préférable après tout ce que nous venons d'énoncer de présenter des hypothèses et une conclusion provenant de variables non transformées mais précises plutôt que des calculs sophistiqués exploitant des variables imprécises.

En conclusion de cette étude sur les fonctions de croissance, nous pouvons dire : cela demande un gros travail matériel pour finalement ne rien expliquer mais simplement constater par de nouveaux chiffres ce qui est évident a priori par l'évaluation du rendement et des hauteurs de fanes.
Ces méthodes présenteraient de l'intérêt pour comparer des essais entre eux sur des variables transformées comparables. Mais le travail demandé pour obtenir une précision satisfaisante est tel qu'à notre connaissance personne n'a jamais réellement tenté sérieusement l'expérience. Ceci explique facilement la question naïve à notre sens de SESTAK, CATSKY, JARVIS (1972) qui se demandent pourquoi les généticiens et les agronomes n'utilisent pas ces méthodes pour comparer des variétés ou des techniques. Et bien tout simplement parce que pratiquement ces méthodes sont inutilisables avec précision en des lieux multiples. En effet, une expérimentation agronomique ou génétique pour être valable doit être répétée dans l'espace et dans le temps, la connaissance de la variation des facteurs étant la principale préoccupation d'un agronome avant d'interpréter ses résultats. En fin de compte, à notre sens, de tous ces indices, seul le LAI apporte un élément réellement intéressant et permet d'arriver à une précision agronomiquement acceptable.

## II - ETUDE DE L'EAU, DU SOL ET DU SYSTEME RACINAIRE

L'aspect contemplatif des fonctions de croissance nous a amenés à rechercher non plus des nouvelles données obtenues après diverses transformations de données déjà recueillies, mais de trouver de nouvelles variables qui pourraient nous aider à interpréter nos résultats de plein-champ. C'est donc logiquement vers le sol que nous avons prospecté les nouveaux paramètres explicatifs soit par des mesures physiques telles que densité, porosité, soit par le taux d'humidité du sol.

1) ETUDE du SOL :

a) Etude du sol essai de St-Germain 1968

L'essai a été effectué sur un sol silico-argileux dont l'analyse, juste après le labour du printemps, nous a donné les résultats suivants :

| | | | |
|---|---|---|---|
| ANALYSE PHYSIQUE | Argile..... | 15 % | |
| | Limon .... .... ..... | 7 % | (2 à 20 microns) |
| | Sable fin ..... | 54,1% | (20 à 50 microns) |
| | Sable fin ..... | 15 % | (50 à 200 microns) |
| | Sable .... ..... | 7 % | (sup. à 200 microns) |
| | Eléments grossiers..... | 1,9% | (sup. à 200 microns) |

| | | |
|---|---|---|
| Matière Org. totale ... | 1,3% | |
| Calcaire total ..... | 0,4% | |
| pH ($H_2$ O) ..... | 7,4% | |
| Densité apparente ..... | 1,478 | Pour un Horizon 0 - 30 cm |
| Porosité ..... ..... | 44,7% | |
| Cap. rétention eau .... | 22,2% | |
| Eau ..... | 24,5% | |

Nous avons effectué 2 types de mesures par la suite :

- Humidité relative;
- Densités par la méthode des cylindres.

- Humidité relative

Nous avons prélevé, à différents niveaux des buttes et inter-rangs, des échantillons de sol mis en boîtes tarées. Deux répétitions ont été effectuées pour chaque mesure et nous n'avons malheureusement pratiqué que deux fois cette opération durant la végétation: le 4 juillet et le 21 août.

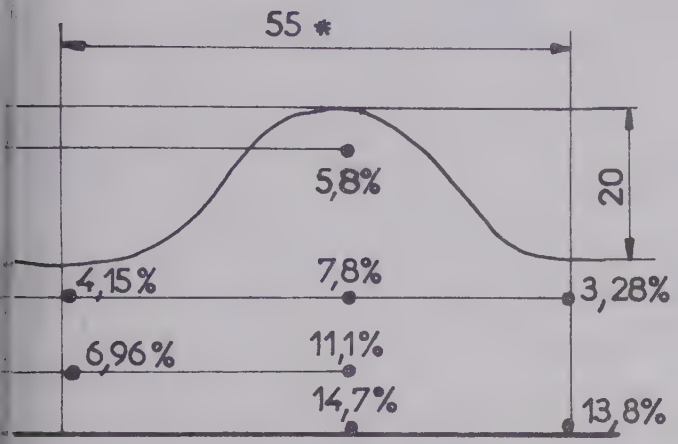
Le calcul a été fait selon la formule :

$$H\ \% = \frac{(\text{terre humide + tare}) - (\text{terre sèche + tare}) \times 100}{\text{terre sèche - tare}}$$

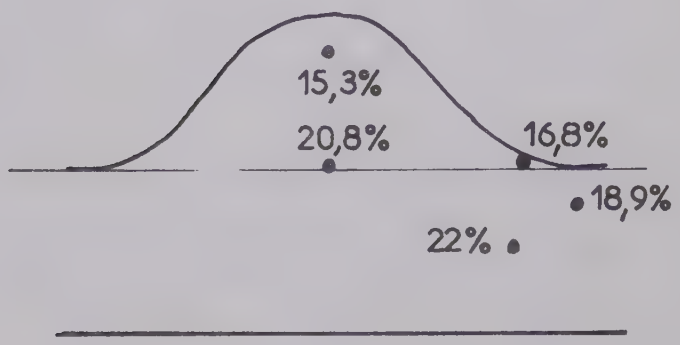
Les résultats sont représentés sur les croquis à la page suivante.

Graphique N° 9
Variété BINTJE

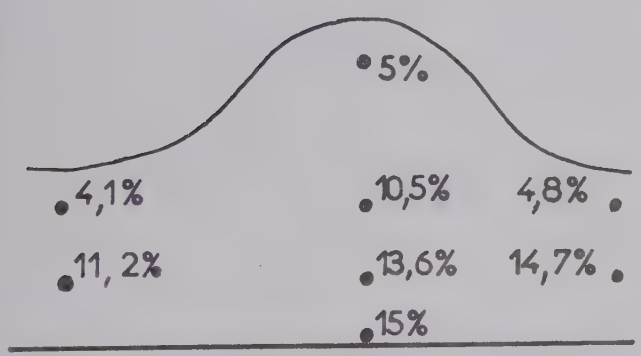
le 4 juillet Désherbage mécanique



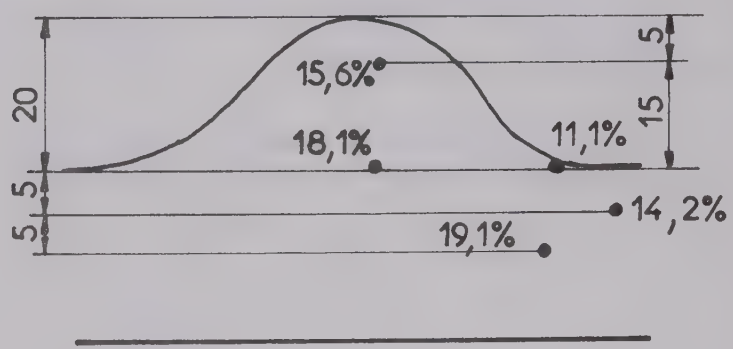

le 21 août désherbage mécanique

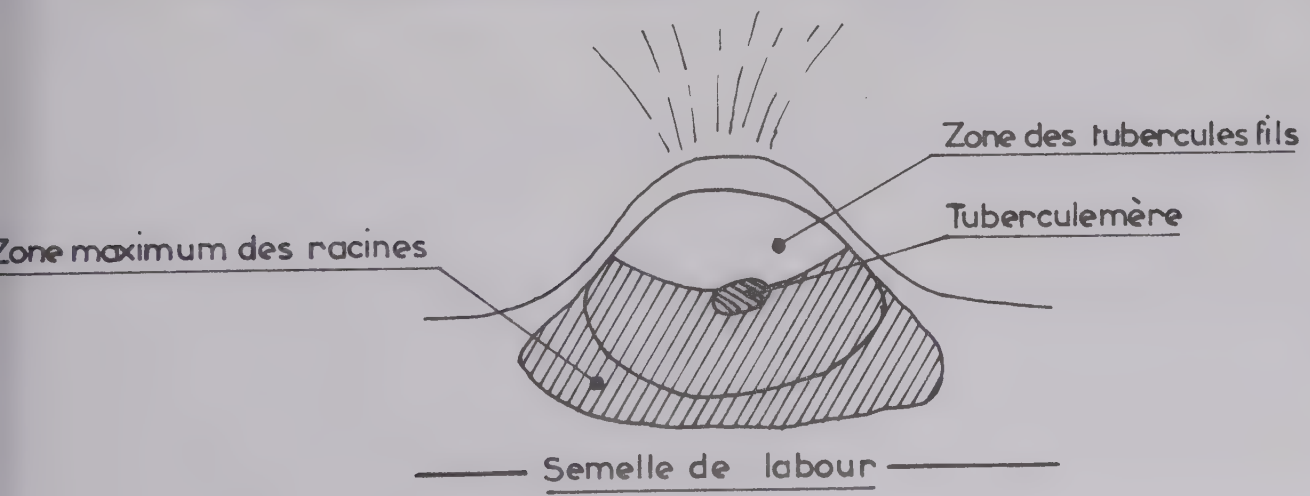



Désherbage chimique




Désherbage chimique




* Les côtes sont en cm

- Etude des densités

Les prélèvements ont été effectués le 28 août à l'aide d'un cylindre de 250 cc et de 8 cm de long, en deux emplacements : le sommet de la butte et le milieu de l'inter-rang.

Trois répétitions de chaque mesure ont été faites. Les résultats sont mentionnés ci-dessous.

TABLEAU V

| | | Porosité % | Densité réelle | Densité apparente | % d'eau |
|---|---|---|---|---|---|
| ilieu inter- rang | M-chimique | 36,81 | 2,487 | 1,571 | 21,89 |
| | M-mécanique | 45,43 | 2,729 | 1,473 | 26,19 |
| ommet utte | B-chimique | 49,57 | 2,398 | 1,209 | 19,04 |
| | B-mécanique | 52,96 | 2,680 | 1,258 | 17,68 |

$$\text{Porosité en \%} = \frac{100\ (\text{Poids saturé} - \text{Poids sec})}{\text{Volume}}$$

$$\text{Densité apparente} = \frac{\text{Poids sec}}{\text{volume}}$$

$$\text{Densité réelle} = \frac{\text{Poids sec}}{250 - (\text{Poids saturé} - \text{Poids sec})}$$

$$\text{\% d'eau} = 0{,}4\ (\text{Poids frais} - \text{Poids sec})$$

L'ensemble des mesures que nous avons effectuées, bien que très fragmentaires et imparfaites, ne met pas en évidence de différence sensible entre les techniques mises en oeuvre dans la mesure de l'humidité relative. Toutefois, on note une différence de porosité appréciable entre parcelles travaillées ou non, donc des possibilités d'évaporation et de circulation d'eau certainement différente.
On observe évidemment, grossièrement à partir des résultats du tableau V, qu'à une porosité maximum correspond une humidité plus faible dans les hauts de butte, mais par contre, qu'une meilleure porosité en base de butte peut améliorer l'humidité par une meilleure pénétration de l'eau.
Mais, ces résultats observés, après la destruction des fanes n'ont qu'une valeur très relative et demandent à être confirmés par des mesures plus nombreuses et échelonnées dans le temps.
Il est néanmoins possible, si cette hypothèse s'avérait juste, d'expliquer partiellement l'amélioration de rendement observée après désherbage mécanique par rapport au désherbage chimique.

b) Essai de GRIGNON 1971

Dans cet essai nous avons comparé : buttage-plantation à façon culturale, les deux parcelles recevant 1 000 g MA du mélange monolinuron + linuron à 50 % de chaque partie.
Cette expérimentation avait surtout pour but de réaliser des mesures secondaires corrélables avec le rendement en vue d'une interprétation plus rationelle qu'en 1968; malheureusement les conditions de l'année, printemps froid et humide puis un mois de Juillet très sec et chaud ont complètement tamponné les résultats observés. Toutefois, un certain nombre de données est intéressant à étudier.
Nous apercevons une assez bonne corrélation entre LAI et rendement ainsi qu'entre LAI et hauteur des fanes comme nous l'avons indiqué lors de l'étude des fonctions de croissance.
Si aucune signification n'apparaît entre les rendements du fait des conditions atmosphériques, on constate néanmoins :

- que le sol travaillé mécaniquement a en général plus d'eau après une pluie;

- qu'en pleine sècheresse c'est le sol non travaillé qui semble conserver une meilleure humidité. Toutefois, nous ne pensons pas que ces différences soient significatives et nous nous garderons bien de conclure sur ce sujet.

TABLEAU VI - Résultats GRIGNON 1971

Moyenne de 10 mesures pour toute les variables sauf rendement moyen de 500 plantes

| Variables / Facteurs | Dates | Rendement / ha | Haut.des fanes / touffe en cm | Surface foliaire/ touffe en $m^2$ | LAI / touffe en $m^2$ | Densité sol réelle | % porosité sol | % eau | Densité sol apparante | Poids des racines en g sèches/ touffe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Buttage Plant A | 21/6 | 10,040 CV=6,6 | 50,18 CV=5,34 | 0,73 | 2,56 | 3,36 | 64,3 | 22,9 | 1,126 | 9,20 |
| Buttage en cours végét. B | 21/6 | 9,489 | 47,44 | 0,57 | 2,00 | 3,37 | 63,4 | 25,4 | 1,208 | 8,80 |
| A | 3/7 | 17,285 CV=7,7 | 50,20 CV=2,6 | 0,91 | 3,19 | 2,30 | 46,6 | 9,6 | 1,216 | 14,5 |
| B | 3/7 | 16,653 | 56,74 | 0,78 | 2,73 | 2,36 | 46,1 | 8,4 | 1,275 | 13,4 |
| A | 15/7 | 24,622 CV=7,51 | 59,62 CV=3,4 | 0,91 | 3,19 | 3,10 | 60,5 | 10,6 | 1,275 | 12,1 |
| .B | 15/7 | 23,826 | 62,31 | 1,10 | 3,85 | 2,90 | 62,6 | 13,2 | 1,326 | 11,0 |
| A | 14/8 | 34,061 CV=15,7 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B | 14/8 | 34,857 | - | - | - | - | - | - | - | - |

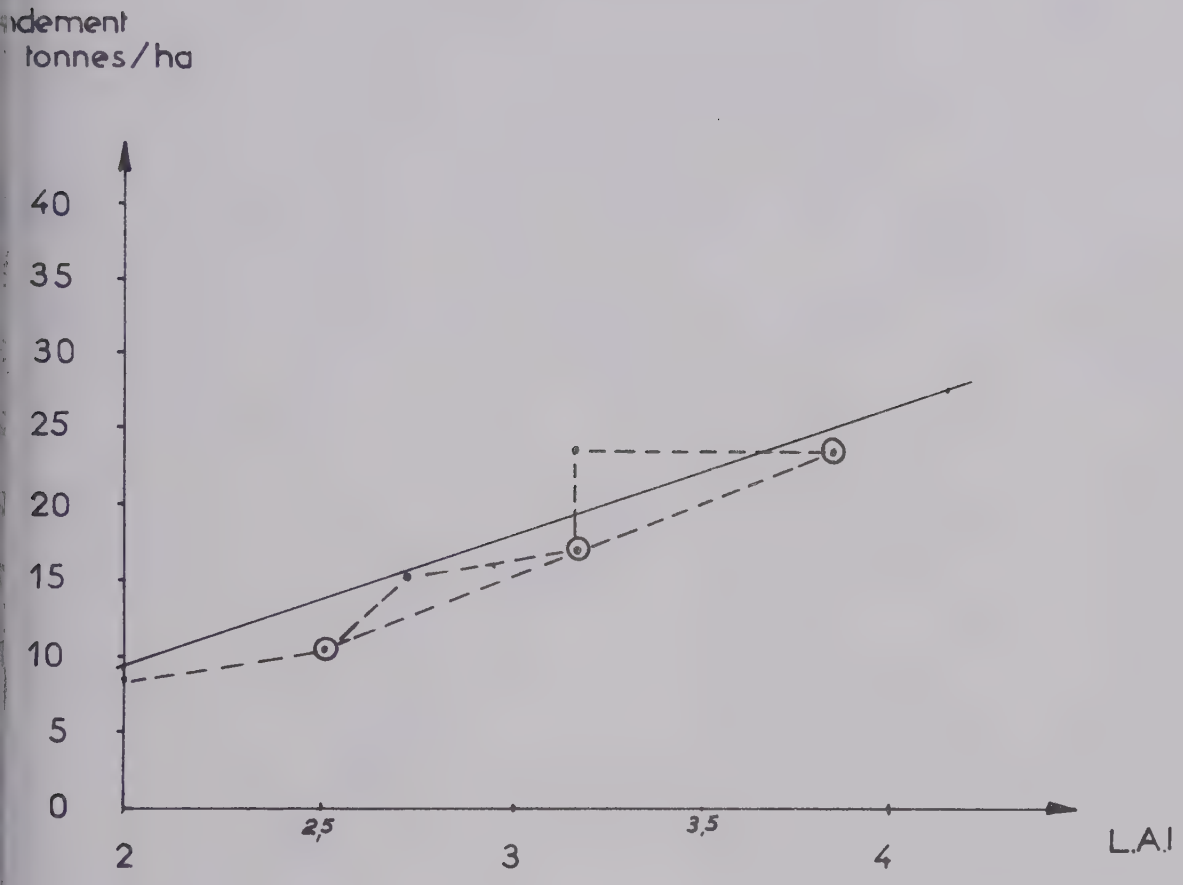
Valeur significative à 0,05

CV = coefficient de variation exprimé en pourcentage

Graphique N°10

Correlation rendement X L.A.I

GRIGNON 1971



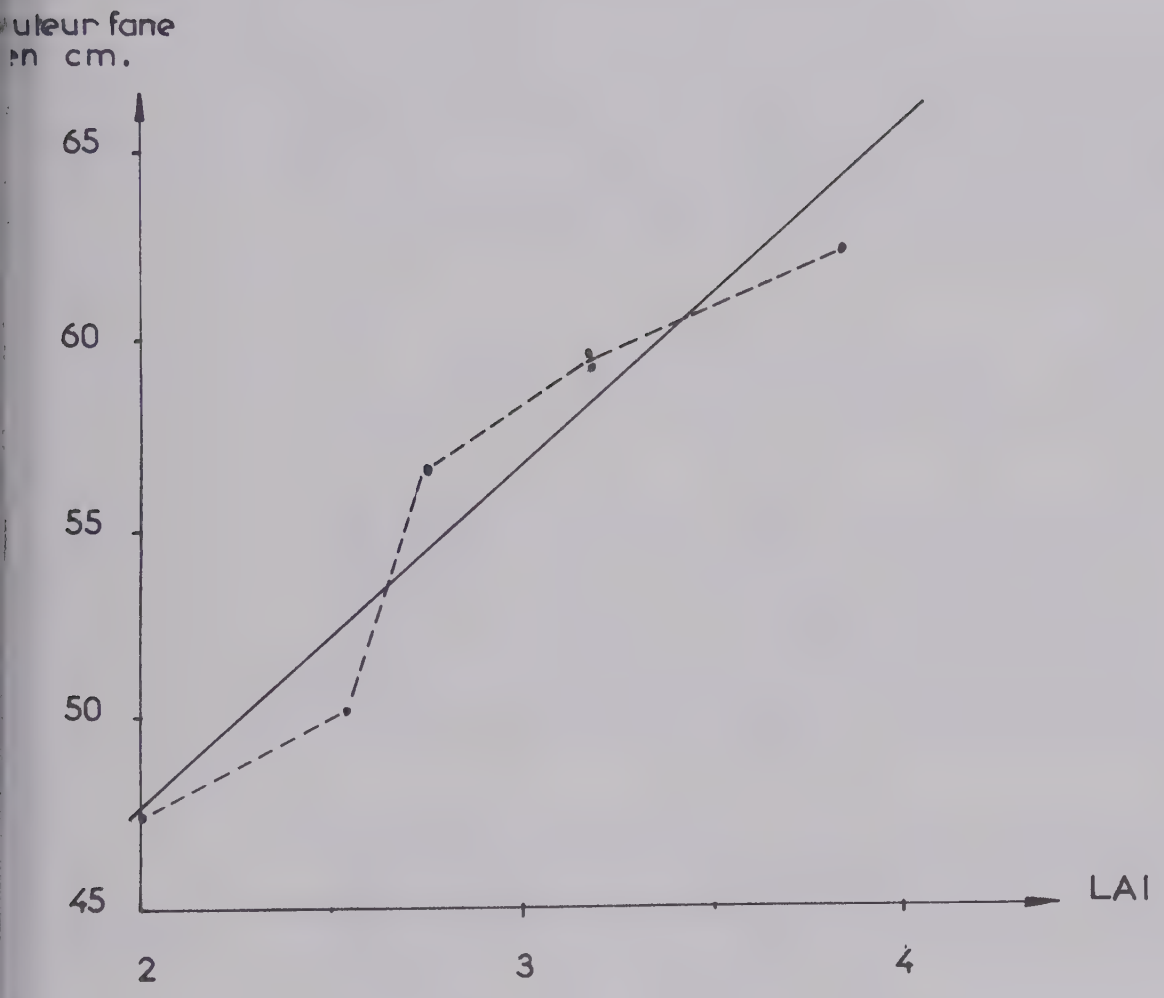

. Désherbage mécanique

⊙ // chimique

Graphique N° 11

_ GRIGNON 1971 _

Correlation hauteur des fanes X LAI



Le poids de racines est légèrement supérieur dans les parcelles non travaillées, mais là encore il nous apparaît difficile de conclure bien que dans l'essai de Saint-Germain nous ayons observé la même tendance.

Les facteurs strictement physiques qui ont été mesurés apparaissent difficilement corrélables au rendement étant donné l'extrême sècheresse de juillet.

En conclusion de nos travaux sur le sujet, il ne semble pas, à priori, que les écarts de rendement observés soient liés à des indices du type porosité ou densité. L'eau varie et pourraît être un élément à prendre en considération, d'autant plus qu'elle joue fortement sur un facteur de tubérisation important, la température du sol que nous évoquerons plus loin.

## 2 ) ETUDE des PROFILS RACINAIRES :

Les observations que nous avons faites au cours des essais variétaux, nous ont amenés à réfléchir sur le problème racinaire et à observer de plus près ce qui se passe après un buttage. En effet, l'avantage du désherbage chimique, au départ de la tubérisation, peut paraître normal. Les façons culturales mécaniques blessent, coupent les racines, ce qui provoque un retard de végétation important (HERVE - CROSNIER 1968).

Cet aspect du problème a été bien étudié par MOSIN V. et SHAFRONOV qui considèrent que le système racinaire est situé principalement dans les couches superficielles du sol ; le poids sec des racines dans l'horizon 0 - 20 cm par rapport à l'horizon 0 - 40 cm, est variable selon les façons culturales (67 à 86 % lors de la floraison et 63 à 78 % à la fin de celle-ci). Toutefois, ces auteurs notent que les racines de l'horizon 20 - 40 ont un très grand rôle dans la nutrition en éléments minéraux et en eau (cela se remarque très bien dans leurs essais en conditions de sècheresse).

MOSIN V. et SHAFRONOV trouvent par ailleurs de 9 à 20 % de racines très fines entre les rangs, racines qui se situent principalement dans un horizon 0-10, et qui ont un grand rôle d'absorption. C'est pourquoi, ils estiment que les passages d'outils à moyenne profondeur détériorent de façon importante le système racinaire, retardent la végétation et diminuent les rendements. Cette répartition du système racinaire est confirmée par nos propres résultats. Après avoir arraché quatre touffes avec un maximum de terre autour de la butte, nous avons obtenu un poids sec moyen de racines adhérent au pied de 1,670 g. Ensuite, nous avons prélevé dans un carré de 50 cm de côté, la touffe étant située au centre, toute la terre sur une profondeur de 40 cm, c'est-à-dire jusqu'à la semelle de labour. Cette terre a été passée sur tamis soumis à un fort courant d'eau et nous avons recueilli les racines restantes; nous avons retrouvé, en moyenne, de 0,600 à 0,700 g de racines, soit environ 35 à 45 % de racines dispersées à plus de 20 cm du centre de la tige. Ce développement racinaire est très variable selon les variétés; dans une étude préalable, nous avions pu, à la suite d'observations de profils, établir un classement de l'importance du système racinaire dans un sol humifère du Finistère sur une plantation du 22 avril. Il nous a été possible de classer les variétés en 3 groupes pour une condition donnée :

1er groupe

Système radiculaire dispersé dans la butte et tubercules disposés sur le bord de la butte, portés par des stolons très longs. URGENTA, SIRTEMA et (ou) SIENTJE représentent assez bien ce goupe.

2ème groupe

Groupe moyen se situant entre 1 et 3, dont les variétés représentatives sont BINTJE et VIOLA.

3ème groupe

Système radiculaire et tubercules ont tendance à être situés sous la touffe et à plonger en profondeur sous la butte. Les variétés caractéristiques de ce groupe sont ACKERSEGEN et CLAUDIA.

NECAS a étudié la dynamique de la croissance des racines et arrive aux conclusions suivantes : la croissance la plus intense a lieu jusqu'au début de la floraison, après la floraison, on assiste à une réduction progressive de l'importance du système radiculaire.

Le tableau ci-dessous, tiré de NECAS, donne les valeurs suivantes:

| Phase de développement | % de racines présentes par rapport à la quantité observée à la floraison | |
|---|---|---|
| | BINTJE | KRASAVA |
| Levée ..... | 8,4 | 18,0 |
| Formation des boutons floraux | 58 | 81 |
| Une semaine après la floraison | 100 | 100 |

Comme MOSIN et HERVE, NECAS considère que la plus grande partie du système racinaire est disposée dans l'horizon 0-20; néanmoins, des racines isolées sont retrouvées jusqu'à 80 cm de profondeur.

NECAS pense également que l'on peut parler de la forme variétale du réseau racinaire et que les façons culturales influent fortement sur son développement. HRUSKA et NOHEIL démontrent que les façons culturales doivent être terminées avant que les racines aient perdu leur capacité de régénération.

3) ETUDE DE LA VARIATION DES TEMPERATURES DANS LE SOL EN FONCTION DES TECHNIQUES CULTURALES

Nous avons vu,tout au début de ce travail, qu'en dehors de la lumière, le facteur le plus influant sur la tubérisation était la température. D'autre part, bien que de manière non probante, l'humidité des buttes varie sensiblement selon que l'on réalise ou non un buttage, or, l'eau a une action sur la température du sol. Ceci nous a donc naturellement conduits à contrôler la température à l'intérieur des buttes après un buttage.
La position très près de la surface du sol du tubercule mère et sa plus grande aptitude à subir des températures plus froides par rapport aux tubercules enfouis dans les buttes peut expliquer les rendements plus élevés obtenus en culture à plat, dans le cas des cultures de primeurs. En effet, il est connu des bioclimatologistes que la température dans le sol varie en fonction de la profondeur ou celle-ci est enregistrée. Ces considérations nous ont poussés en 1971, à mettre en place à GRIGNON, deux thermomètres enregistreurs à sonde à alcool, dans une culture. Malheureusement,

des incidents matériels ne nous ont pas permis de les placer avant et immédiatement après le buttage, les résultats obtenus sont représentés sur le graphique n° 12.
Les courbes obtenues montrent des variations particulièrement intéressantes selon la présence ou l'absence de buttage en cours de végétation. Tout d'abord, nous remarquerons une inversion des courbes buttage ou non buttage selon que l'on considère les maxima ou les minima, ainsi la nuit les températures sont plus froides dans les parcelles non travaillées. Dans la journée, au contraire on enregistre les températures les plus froides dans les parcelles buttées. Nous pouvons donc conclure que les différences de température sont maximales dans le cas du non - buttage en végétation, alors que nous observons des différences minimales dans les parcelles buttées. Nous obtenons une bonne corrélation entre les écarts de température des parcelles buttées à la plantation et buttées en végétation (graphique n° 13).

Cette première approche intéressante de 1971, durant une période particulièrement chaude, nous a incités à reprendre en 1972 ce problème en essayant d'être plus précis et complets.

Pour ce faire, la station de Bioclimatologie de VERSAILLES (I.N.R.A.) a eu l'amabilité de mettre, durant 10 jours, à notre disposition des électro-couples afin de réaliser des mesures précises de l'influence immédiate d'une façon culturale sur la température du sol.

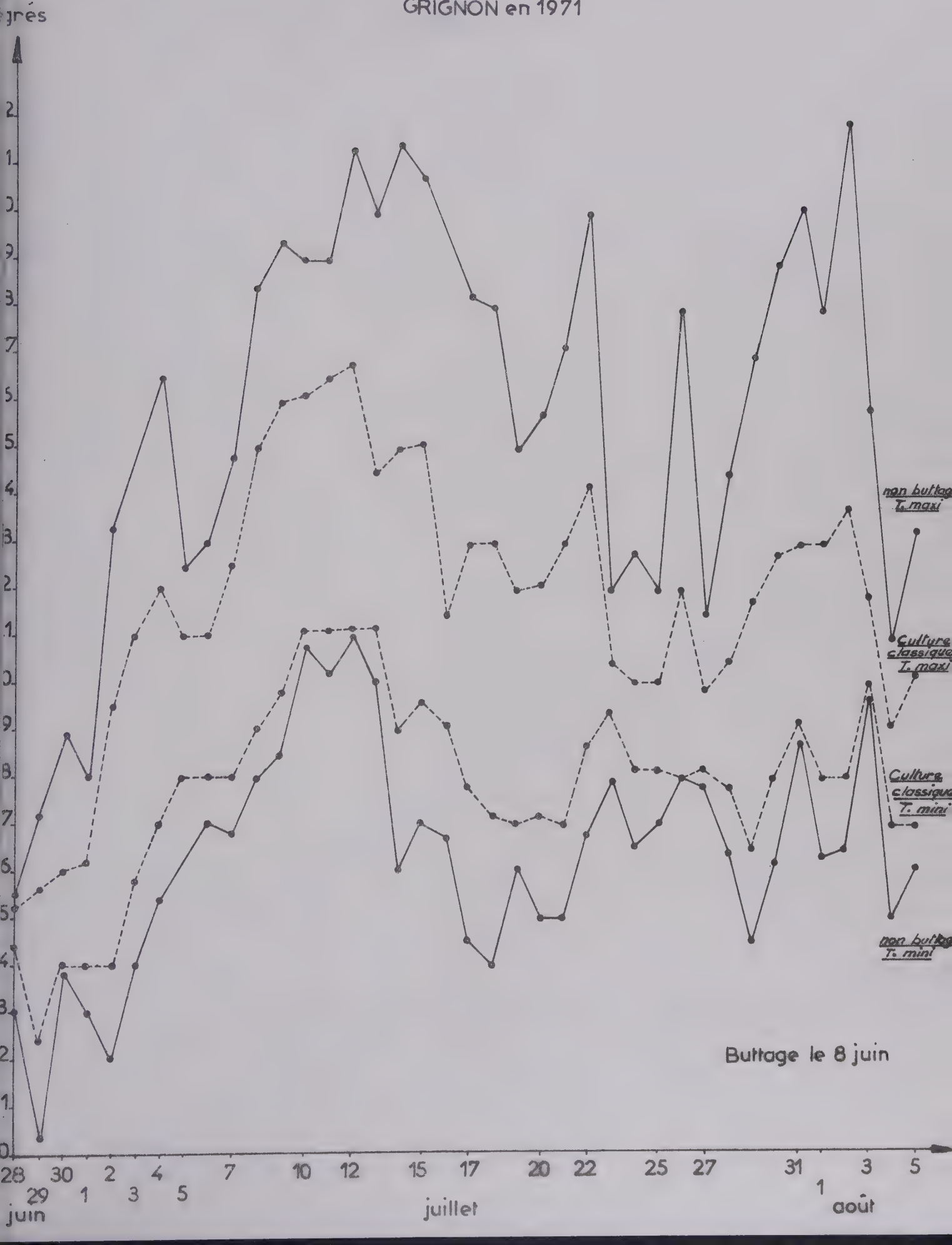
Nous avons préféré, de manière à obtenir plus de répétitions, relever la température différentielle entre les deux techniques mises en oeuvre. Cet essai a été réalisé à la Station expérimentale de l'Institut Technique de la pomme de terre à St-Rémy l'Honoré (Yvelines) sur la variété BF 15. Le buttage a été réalisé le 9 juin à 15h 30 et les thermo-couples ont été mis immédiatement en place à 12 cm de profondeur dans chaque condition. L'essai s'est terminé le 19 juin. Durant cette période, le temps a été malheureusement froid et humide de façon relativement constante. Nous n'avons pas observé de variations importantes, néanmoins, les écarts obtenus ne sont pas négligeables et, ce qui est important, toujours dans le même sens. Le graphique n° 14 donne la température différentielle par rapport au sol non travaillé (moyenne de 4 mesures). Il apparaît que le sol travaillé présente, de façon constante, dans les dix jours qui suivent une façon culturale, une température plus froide en moyenne de 1,4 degré, avec des amplitudes allant de 0,2 à 3,5 degrés.

D'autre part, au-delà d'une dizaine de jours, on observe une certaine atténuation du phénomène, confirmée d'ailleurs dans un deuxième essai implanté en 1972 (Graphique n° 15) avec nos thermomètres à sonde. Par contre, dans le deuxième essai, au niveau des inversions des courbes mini et maxi, on n'observe pas exactement les mêmes résultats. Mais il est à noter qu'en 1972, si les inversions de température ont été très atténuées par rapport à I97I, elles ont été malgré tout dans le même sens.

Graphique N°12.

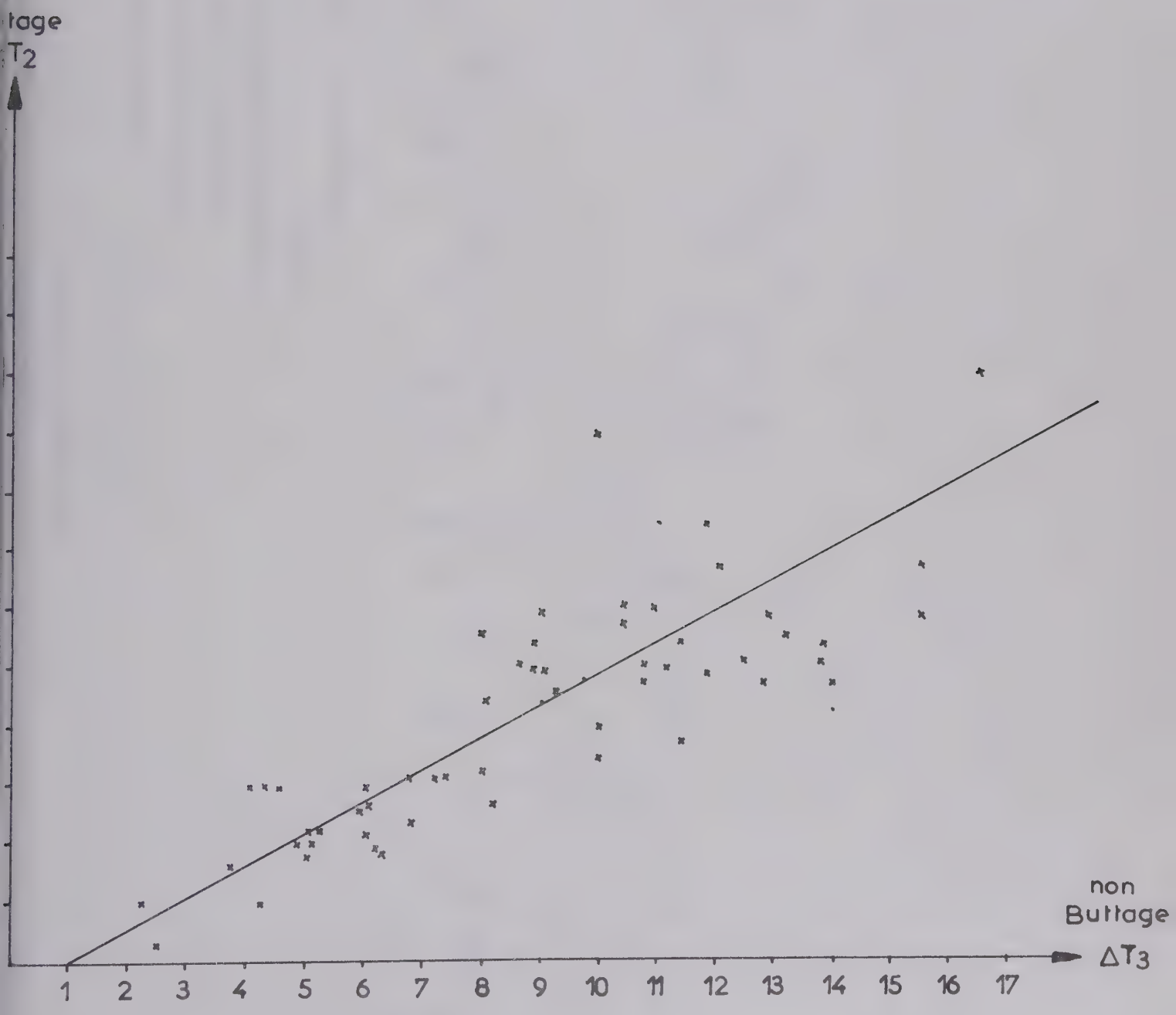
Evolution des températures

GRIGNON en 1971



Graphique N°13

_ GRIGNON _1971 _



Graphique N°14

Saint Rémy L'Honoré

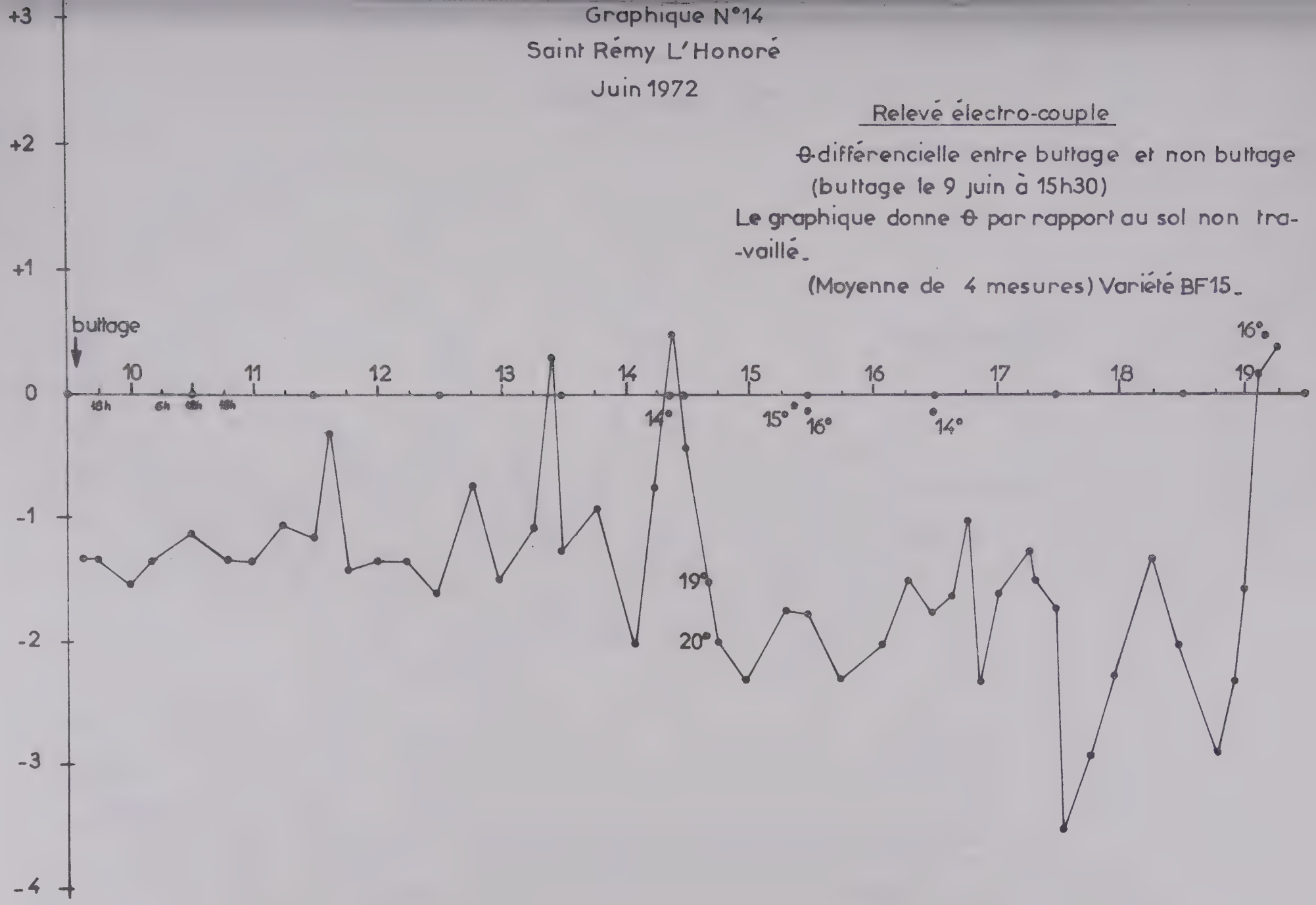
Juin 1972

Relevé électro-couple

θ-différencielle entre buttage et non buttage
(buttage le 9 juin à 15h30)

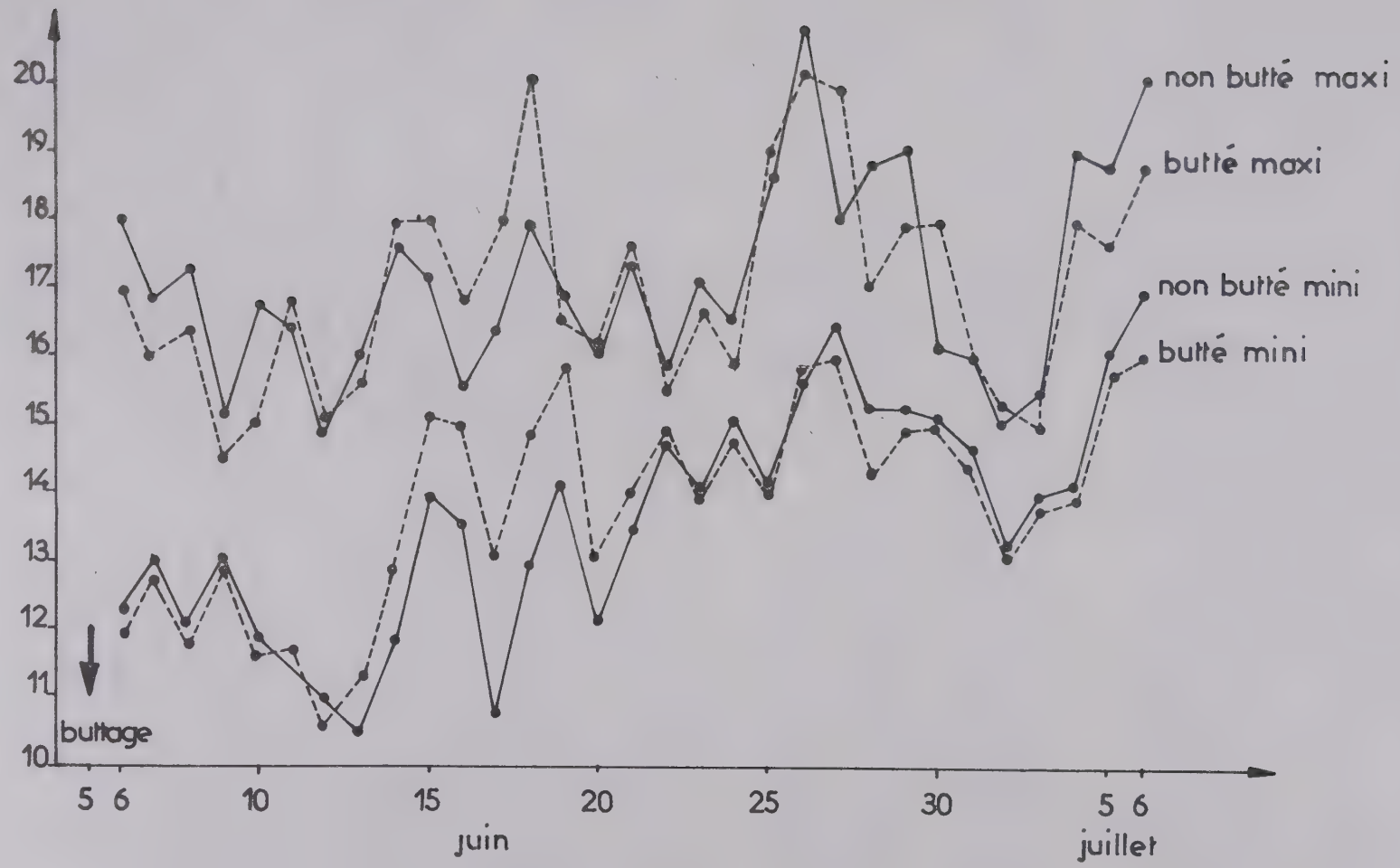
Le graphique donne θ par rapport au sol non tra-
-vaillé.

(Moyenne de 4 mesures) Variété BF15.



Graphique N°15

SAINT GERMAIN 1972



En définitive, nos 3 essais avec prise de température, s'avèrent particulièrement intéressants quant aux informations recueillies. Du fait, en particulier de l'excellent recoupement obtenu aux variations annuelles près, ce qui permet d'avancer les constations suivantes :

- le buttage abaisse sensiblement la température de la butte durant une dizaine de jours. L'importance de cette baisse doit être variable selon les conditions de température de l'année et cela reste à préciser.
  Nous ne pouvons que dire : à une température moyenne extérieure de 12° environ on abaisse la température des buttes de 1 à 3,5° après un buttage.

- après ce délai, les buttes retravaillées présentent une amplitude de température plus faible que dans les parcelles non rebuttées en végétation. Cette amplitude est liée à la température extérieure et s'accroît avec l'élévation de celle-ci.

- il semble qu'à des températures élevées on observe une température minimale dans les parcelles non travaillées et aussi une température maximale dans ces mêmes parcelles. Mais cette constatation reste à confirmer.

Toutes ces considérations apportent enfin une explication aux différences de rendements observées ou au contraire à l'absence de différence certaines années.
Schématiquement, nous pouvons imaginer l'évolution des choses de la manière suivante :

a - le buttage abaisse la température du sol et favorise la tubérisation. Mais simultanément mutile de nombreux stolons et racines.
Les racines restantes enregistrent le refroidissement observé bénéfique à la tubérisation. Mais, nous avons vu que la plante stoppe sa croissance après une ablation d'une partie de son système racinaire jusqu'à reconstitution de celui-ci. Or, sachant que la croissance antagonise la tubérisation, nous pouvons sans aucun doute, admettre que le buttage en abaissant la température et, en stoppant momentanément la croissance, favorisera la tubérisation et aidera à reconstituer les éventuelles ébauches enlevées par les buttoirs.

b- autre point important : les parcelles non retravaillées en végétation subissent les écarts maxima de température. Notamment à partir de juin, juillet comme en 1971, époque où les températures peuvent être très élevées et où la tubérisation effectue son accroissement le plus important, un certain effet inhibiteur peut apparaître par déclenchement, dans la plante, de substances antagonisant légèrement la tubérisation.

c - L'absence d'arrêt de croissance dans les parcelles non travaillées en cours de végétation fait jouer au maximum l'antagonisme croissance-tubérisation. Cela conduit à des hauteurs de fanes inférieures et nous observons un bilan photosynthétique plus limité et un NAR en régression dans le non-buttage à partir de la mi-juillet. Au contraire, le LAI des parcelles buttées continue de croître et de ce fait possède un NAR encore évolutif favorisant le grossissement des tubercules.

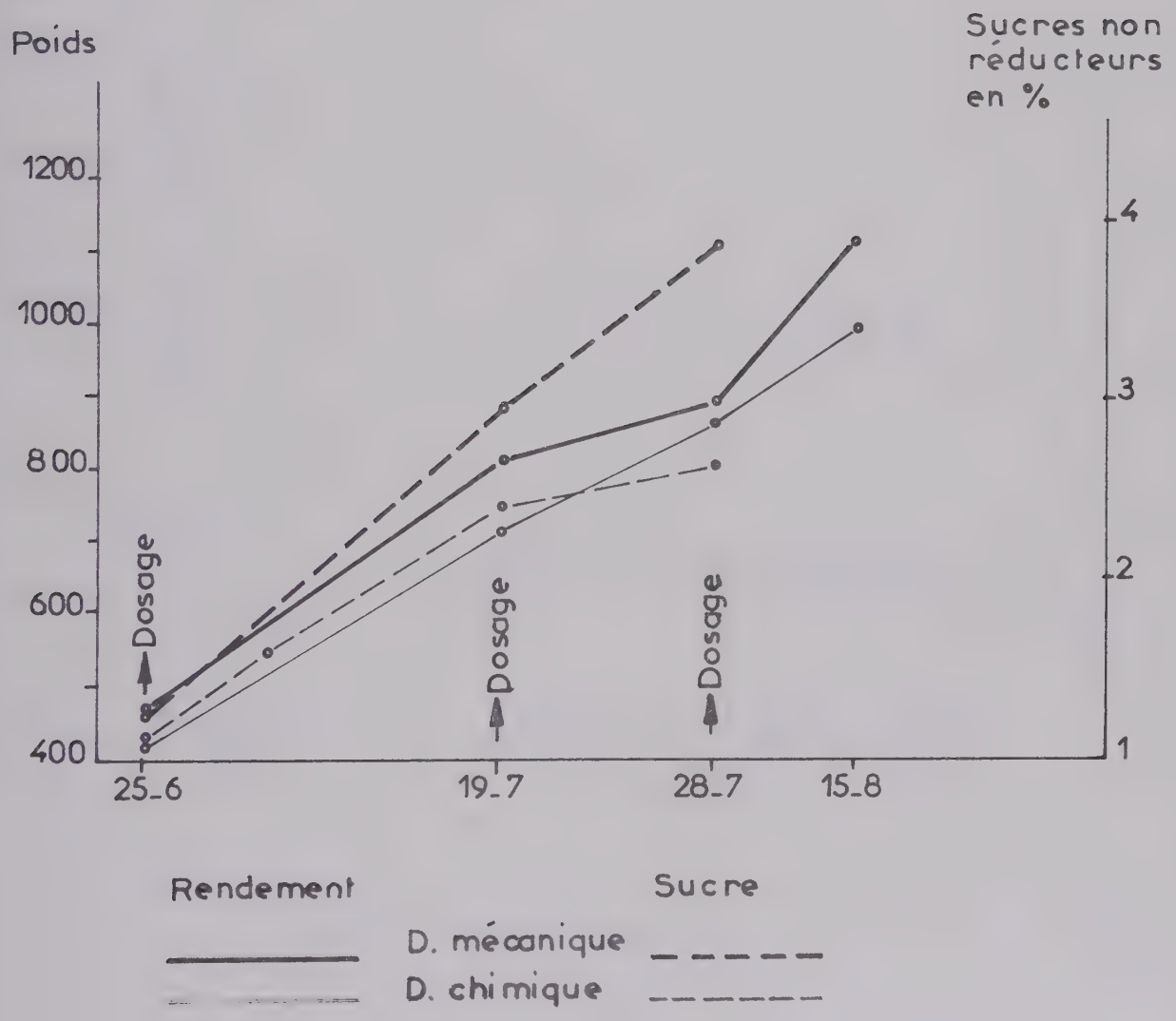
Cette esquisse du phénomène en trois points serait sans doute idéale si les conditions climatiques étaient constantes. Ce n'est malheureusement pas le cas, et cela explique les écarts de rendements plus ou moins importants que nous observons, selon que la température et la pluviosité auront été plus ou moins fluctuantes, d'une année à l'autre et même d'un lieu à l'autre la même année.

## I - ETUDE DE L'EVOLUTION DES SUCRES DANS LES TUBERCULES EN COURS DE VEGETATION ET A LA RECOLTE

Nous avons observé (tableau V) qu'à une porosité maximum correspond une humidité plus faible dans les hauts de butte. Par contre, une meilleure porosité en bas des buttes peut améliorer l'humidité par une pénétration plus importante de l'eau. Or, d'après GRISOLLE, la pomme de terre présente, en climat sec (région d'Aix-en-Provence), un déficit en eau important durant la phase exponantielle de la courbe de croissance des tubercules. On peut alors admettre que les différences d'humidité dans le sol puissent jouer sensiblement sur le rendement et expliquer ces variations de formation de la matière sèche selon le modèle suivant : les plantes, à un moment donné, présentent un déficit hydrique; les stomates ont alors tendance à se fermer, le D.P.D. (déficit de pression de diffusion) s'accroît et l'absorption de $CO^2$ devient plus faible d'où une baisse de la photosynthèse qui conduira à une production de matière sèche inférieure à celle d'une plante normalement hydratée. Cette analyse du phénomène peut être discutée, puisque comme le souligne DE PARCEVAUX, les végétaux vis-à-vis de l'eau, suivent la loi de l'offre et de la demande. Toutes les plantes recherchent essentiellement un état d'équilibre dont dépend l'ouverture des stomates ou plus exactement l'introduction d'une résistance supplémentaire, la régulation stomatique, qui s'établit de manière à réduire la demande à l'intérieur de la feuille au niveau de l'offre, c'est-à-dire finalement les possibilités d'absorption de l'eau, par les plantes, dans le sol.

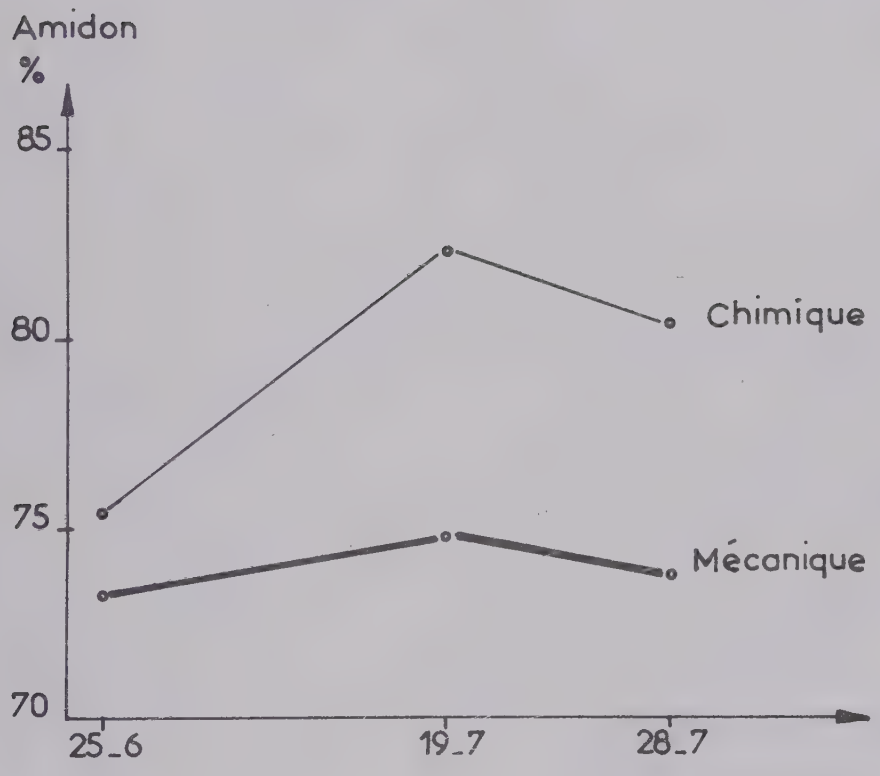
Graphique N°16

Evolution de la tubérisation et des sucres non réducteurs à GRIGNON en 1967



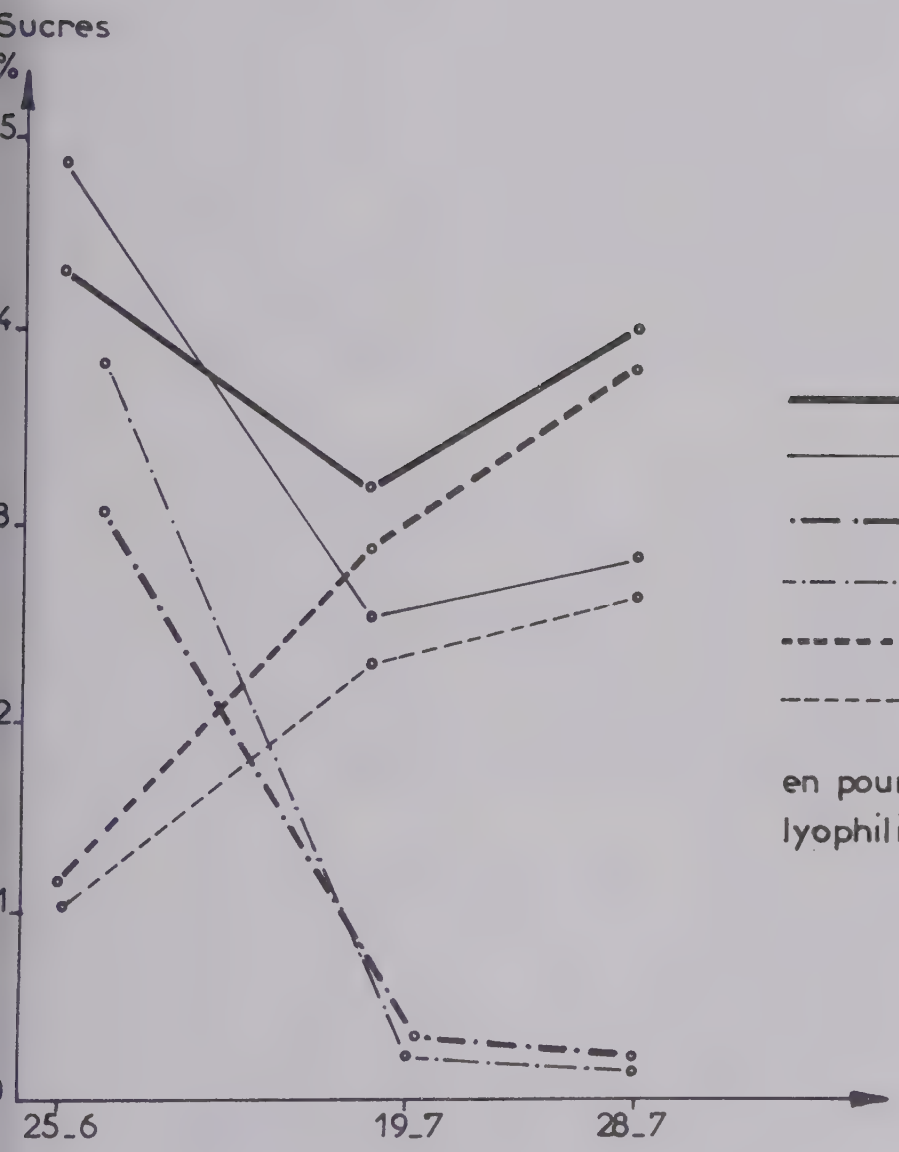
Graphique N°17

Evolution de l amidon Grignon 1967
en % de poudre lyophiliséé sèche



Graphique N°18

Evolution des sucres Grignon 1967




M
C
Sucres totaux

M
C
Sucres réducteurs

M
C
Sucres non réducteurs

en pourcentage de poudre lyophilisée séche.

D'autre part, toute diminution du $CO_2$ au niveau des stomates provoque une élévation du pH qui amène une dissociation des sucres qui vont accroître la pression osmotique, il s'ensuit une élévation de la pression de succion ou D.P.D., ce qui va provoquer une ouverture des stomates qui vont transpirer l'eau ainsi appelée et accentuer le déficit hydrique de la plante, mais en réactivant l'absorption du $CO_2$ et la photosynthèse.

Il se passe donc à ce moment là une lutte entre l'ouverture et la fermeture des stomates qui, tout en permettant à la plante de former de la matière sèche, accroît son déficit hydrique et en principe accélère sa maturité. Cette hypothèse est confirmée par les travaux de NECAS qui montrent que la croissance des pommes de terre et l'accroissement de la surface foliaire sont très liés au taux d'humidité du sol et qu'une baisse de la quantité d'eau a pour conséquence immédiate une baisse des performances d'assimilation et naturellement une chute des rendements. Par ailleurs, TUMAROV, cité par LEME (I967) soulève un point intéressant : la teneur en sucres solubles et amidon se modifie en fonction de l'eau ; on trouve moins de glucides en sol sec que dans un témoin en sol humide, ceci étant dû vraisemblablement à l'activité respiratoire. De même, d'après PELINOV, le déssèchement amène une migration des glucides hors des feuilles. Dans un essai effectué à Grignon, en I967, nous avons, lors d'arrachages partiels, dosé les sucres ; nous avons noté une bonne corrélation entre l'élévation du rendement et la teneur en saccharose. Le graphique I6 montre l'évolution des sucres et du rendement (sucres dosés selon la méthode de NELSON) dans l'essai de Grignon.

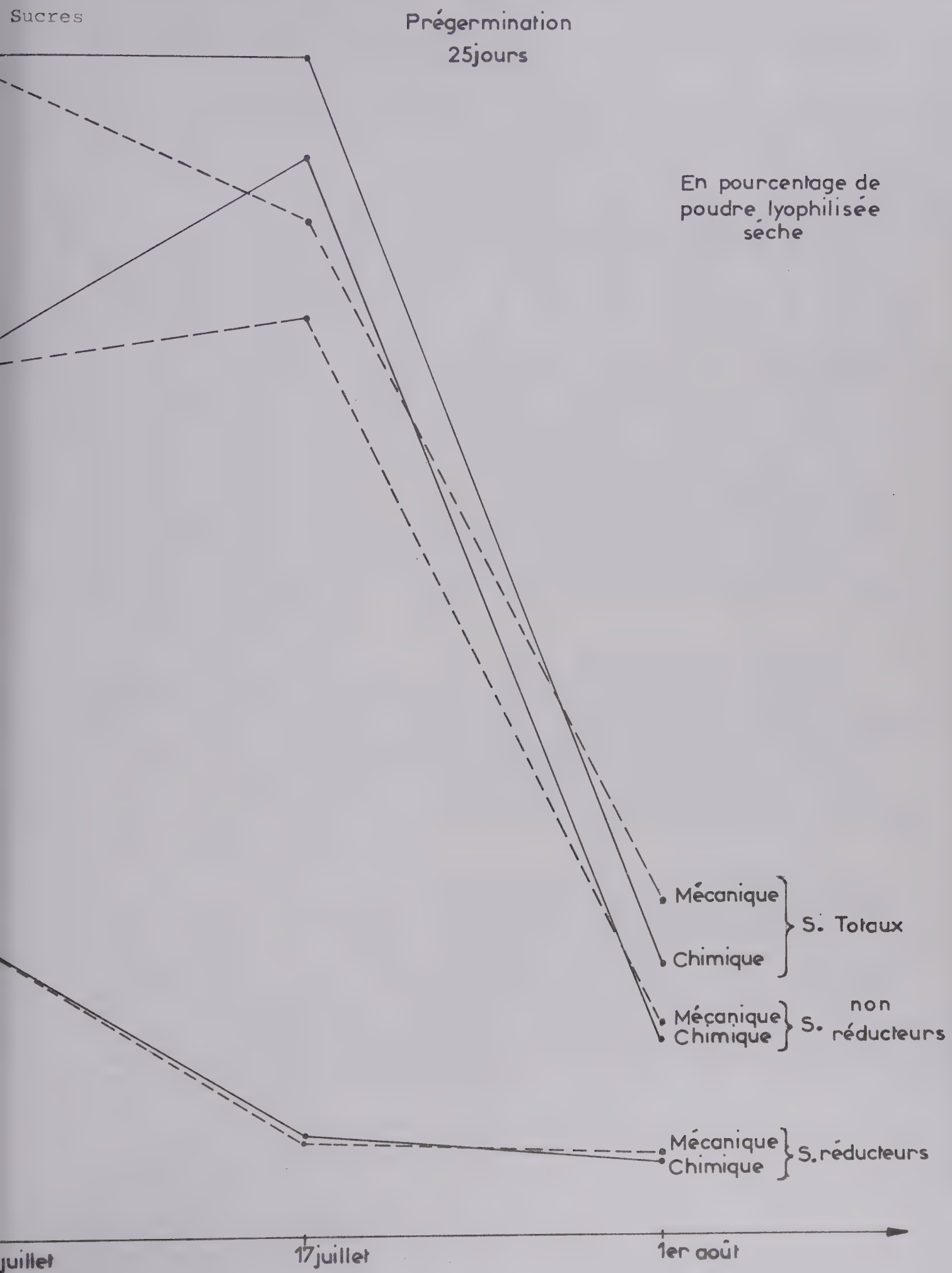
Les graphiques N° I7 et I8 font ressortir l'évolution des sucres totaux, réducteurs et non réducteurs et de l'amidon. On assiste, dans le temps, à une augmentation des sucres non réducteurs donc du saccharose, à une baisse vertigineuse des sucres réducteurs et à une certaine constance du taux d'amidon, qui fluctue faiblement. Il est néanmoins intéressant de constater que les écarts observés entre plantes soumises aux deux techniques mises en oeuvre peuvent être importants selon les époques. Les sucres présentent une teneur plus élevée après désherbage mécanique, et au contraire la quantité d'amidon retrouvée est plus importante après désherbage chimique.

En I968, nous avons repris dans l'essai de St-Germain, le dosage des sucres sur les pommes de terre ayant subi une prégermination de 25 jours. Les résultats figurent sur le graphique n°I9. Les valeurs trouvées sont relativement concordantes avec nos résultats de I967 pour les sucres totaux, réducteurs et sucres non réducteurs aux deux premiers arrachages. Ils ne se présentent absolument pas de la même façon à la récolte finale.
Toutefois, il apparaît, dans les deux cas, une chute brutale des sucres réducteurs à partir de la mi-juillet et les différences entre

Graphique N°19

SAINT GERMAIN 1968

Prégermination
25jours



les deux techniques s'atténuent relativement au fur et à mesure que l'on approche de la maturité. C'est donc durant la croissance que des différences apparaissent, notamment au niveau des sucres non réducteurs, sans doute lorsqu'un "Stress" se produit : blessures, variations d'humidité ou de température.

Un troisième contrôle des sucres a été réalisé sur l'essai de Saint-Germain I97I, à la récolte nous avons obtenu les résultats suivants:

| | Réducteurs | Totaux | Non Réducteurs | Rendm.t t/ha |
|---|---|---|---|---|
| Désherbage chimique | 0,51 | 2,41 | 1,90 | 32,3 |
| Désherbage mécanique | 0,69 | 2,66 | 1,97 | 34,4 |

Ces résultats sont très concordants avec ceux de Saint-Germain I968. Nous sommes toutefois assez perplexes sur les résultats que nous avons obtenus, et sur beaucoup d'autres d'ailleurs, à la suite d'une communication présentée par W. WIESE en I97I, à la réunion de la section de Physiologie de l'E.A.P.R. à Saint-Cergue. Cette note démontre que les écarts observés entre deux techniques, quant aux pourcentages des sucres, sont en général toujours inférieurs à ceux que l'on observe entre les calibres de pomme de terre. Cela revient à dire, pour nous qui avons choisi un échantillonnage moyen de divers calibres, que les résultats obtenus, surtout d'une année à l'autre, sont plus, à la limite, une image des calibres utilisés que des techniques mises en oeuvre.

Si l'on considère de plus, que le taux de sucre varie très vite comme l'ont montré les travaux de MICHIELS en fonction du temps écoulé entre la récolte et la stabilisation des échantillons, on comprend qu'il soit très difficile de comparer des dosages de sucres. En fait, on ne peut comparer que les techniques date à date en admettant une prise d'échantillons identiques dans chaque calibre. Cela n'a pas été notre cas, l'échantillonnage moyen n'ayant pas été établi en fonction de ce critère, inconnu de nous à l'époque où nous avons réalisé nos analyses.

En conclusion, ce travail n'apporte pas d'éléments nouveaux importants à notre raisonnement, mais constate des variations dans les sucres à certaines époques, ce qui est normal les sucres n'étant que la résultante de macanismes physiologiques plus complexes. C'est pourquoi, nous pensons, qu'en matière de pomme de terre, pour expliciter certains phénomènes en cours de croissance les sucres ne sont pas d'un grand intérêt, surtout si l'on considère la variabilité des résultats en fonction des calibres et de la difficulté de réaliser une fixation rapide des échantillons.

## IV - CONCLUSION DU CHAPITRE III :

Nous avons essayé d'expliquer les résultats observés dans nos essais parcellaires ; le critère le plus intéressant qui se dégage est la température du sol. Il nous apparaît en effet possible de comprendre l'ensemble des résultats obtenus à l'aide de ce facteur. Les blessures réalisées en cours de buttage restent évidemment une donnée importante mais ce facteur nous était apparu immédiatement aux champs lors de la réalisation des façons culturales en cours de végétation, et cette constatation n'expliquait pas tout. C'est incontestablement l'interaction blessures, température du sol qui permet une compréhension complète des résultats. Le chapître IV sera donc consacré à la démonstration de ces deux hypothèses :

- influence des blessures aux racines sur la tubérisation ;
- influence de la température sur la croissance et la tubérisation des pommes de terre.

# CHAPITRE IV

## ETUDES DE MODELES THEORIQUES EN SERRES ET EN PHYTOTRON

Les diverses hypothèses que nous avons soulevées et étayées par nos propres études sur le terrain et par divers recoupements bibliographiques nécessitent des confirmations très difficiles à obtenir en plein-champ, c'est pourquoi nous avons entrepris une série d'essais en serre, puis en phytotron pour démontrer la validité de nos hypothèses.

### A - ESSAIS EN SERRE

Une des hypothèses que nous soulevons depuis le début de nos essais, concerne les blessures occasionnées au système racinaire des pommes de terre lors des façons mécaniques de désherbage ou de buttage.
Cette action est évidemment très nette, il suffit d'examiner l'état du système racinaire des plantes simplement après un buttage, sans même parler de hersage, pour admettre l'importance de ce facteur. Mais nous avons tenu à vérifier si effectivement des blessures provoquées artificiellement pouvaient stopper la végétation et modifier la croissance et la tubérisation. Ce genre d'expérience peut se réaliser en serres, malheureusement, nous n'avons disposé que d'une serre à 20° sans complément de lumière.

1 - ler essai : un petit essai préliminaire a été réalisé en pots sur un support vermiculite. Des tubercules de la variété Bintje traités à la Rindite ont été plantés le 19 octobre. Sur chaque tubercule, un seul oeil a été conservé, les autres avaient été excisés de manière à n'obtenir qu'une tige principale. Lorsque les tiges ont atteint 20 cm de hauteur, les plantes furent dépotées; toutes présentaient exclusivement des racines, ayant une longueur moyenne de 20 cm environ, aucun stolon n'était formé. Quatre types de traitements furent alors appliqués à cette époque; il y avait 5 plantes par facteur :

1°) - Racines coupées aux 2/3 de leur longueur
2°) - Racines coupées au 1/2 de leur longueur
3°) - Racines non coupées, mais plantes dépotées
4°) - Plantes dépotées, longueur des racines inconnue, mais hauteur de tige identique aux trois traitements précédents.

Quarante jours après le traitement, toutes les plantes ont été dépotées et les diverses constatations faites dans ce micro-essai semblent bien confirmer les résultats de HRUSKA : lorsque l'on coupe les racines d'un pied de pommes de terre, celui-ci reconstitue les organes perdus avant d'émettre des stolons, donc des ébauches de tubercules. Par contre, les pieds non meurtris présentaient des stolons et des tubercules d'un diamètre d'environ 5 à 7 mm. Ces résultats doivent être confirmés par des essais plus nombreux et précis, mais il apparaît vraisemblable que le retard de végétation puisse être provoqué par les façons culturales.

2 - 2ème essai : à la suite de ce premier essai, nous avons entrepris une deuxième expérimentation plus complète avec 10 pots par condition afin de pouvoir réaliser des contrôles chiffrés. Dans le but de mimer l'arrêt de végétation, nous avons pensé utiliser des régulateurs de croissance du type C.C.C. et Phosphon. De plus, si le buttage coupe des racines, il meurtrit aussi les feuilles de la base et même bien souvent les enterre en les rendant non fonctionnelles. C'est pourquoi, dans cet essai, nous avons comparé une ablation partielle des racines à un effeuillage de la base ainsi que la combinaison de ces deux opérations.

Cet essai a été réalisé avec la variété Bintje cultivée sur vermiculite et alimentée avec le milieu nutritif suivant :

| | |
|---|---|
| sulfate de magnésie à 16% de MgO | 250 g |
| nitrate de chaux à 13 % de N et 44 % de $K^2O$ | 600 g |
| nitrate de potasse à 13% N et 44% $K^2O$ | 450 g |
| phosphate d'amoniaque à 20% N et 52% $P^2O^5$ | 150 g |
| | 1.450 g |

pour 1.000 l.eau

Mn, toujours pour 1 000 litres d'eau
ou d'une solution renfermant :

- 3 g d'acide borique ;
- 3 g $SO_4^{4}$ Mn ;
- 5,5 $SO_4^{4}$ Zn ;
- 1 g $SO_4^{4}$ Cu ;
- 0,5 g molybdate d'$NH_4^{4}$ ;
- 15 g chelate de fer à 6 % de Fe ;

le tout ajusté à pH 6,5.

Ce milieu a été mis au point par KLEBS et utilisé par beaucoup dans diverses expériences sur pomme de terre.

La plantation a eu lieu le 13 février. Le traitement avec les régulateurs a été effectué le 5 mai alors que la tubérisation était déjà commencée. Les doses utilisées ont été de 300 g matière active/hl d'eau. Les résultats figurent dans le tableau n° 1. Le contrôle a été fait le 20 juin.

Cet essai permet de juger de l'influence des façons culturales regardées sur la croissance et la tubérisation puisque les traitements, coupure des racines et ablation des feuilles de la base, ont été réalisés trop tardivement sur les plantes de 15 cm de hauteur dont l'induction était déjà achevée.

Il apparaît que les plantes se prêtent, à ce stade, contrairement au premier essai en serres, reconstituer les parties végétatives perdues. En particulier, on constate une phytotoxicité très nette, les coupures de racines étant plus nuisibles que l'effeuillage de la base et la combinaison des deux traitements étant de loin la plus agressive pour les plantes. Les traitements au CCC, malgré une forte phytotoxicité sur feuilles, n'ont pas diminué le nombre de tubercules formés de façon significative. (ppde = 0.6) pas plus que le phosphon, non phytotoxique, n'a élevé de façon significative le nombre de tubercules. Toutefois, la croissance a été stoppée de façon analogue aux traitements précédents et, en tenant compte de la phytotoxicité du CCC, on peut admettre qu'il y a cependant une tendance, en stoppant la croissance, à augmenter le nombre de tubercules.

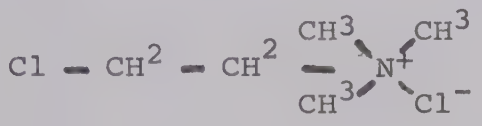
L'idée essentielle à retenir de cet essai, est qu'une intervention trop tardive cassant des stolons et coupant les folioles de la base des plantes, réduit de façon significative le nombre de tubercules formés. Cette expérience prouve de plus, le rôle sans doute importante des feuilles de la base dans la synthèse du complexe de tubérisation en liaison avec le système racinaire.

3 - 3ème essai : cet essai a été planté le 15 janvier et récolté le 24 avril. Les traitements avec les régulateurs ont été réalisés le 20 février lorsque les plantes avaient de 12 à 15 cm de hauteur, les stolons étaient formés mais aucun tubercule n'était visible. Afin d'éviter une phytotoxicité sur le feuillage, nous avons apporté les régulateurs dans les pots (10 cm de diamètre) en arrosage à raison de 25 cc de solution. Les doses utilisées ont été les suivantes :

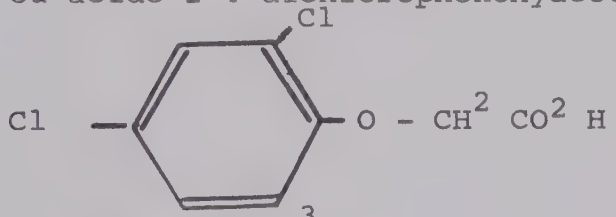
| | |
|---|---|
| CCC | 200 ppm |
| $B^9$ | 250 ppm |
| Ac. Gibbe $A^3$ | 400 ppm |
| 2 4 D | 200 ppm |

Les formules chimiques développées des divers régulateurs utilisés dans ces essais sont données ci-après :

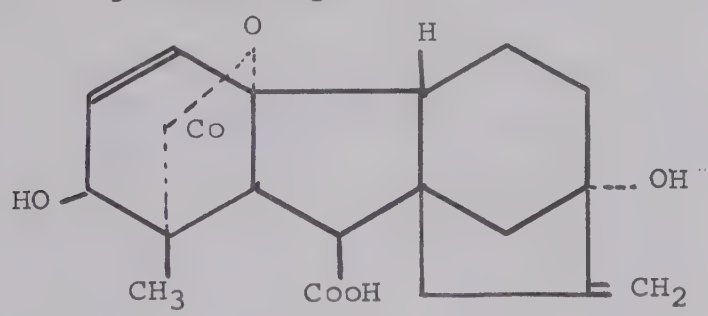
- C.C.C. ou chlorure de chlormequat



- 24 D ou acide 2-4 dichlorophenoxyacetique



- Acide gibbérellique $A^3$



- $B^9$ ou acide N diméthylamino-succinamique

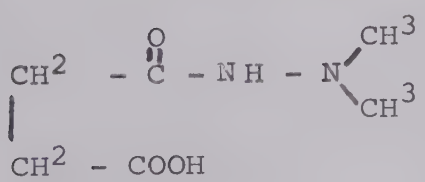


TABLEAU n° I - 2eme essai en serre

mesures pour 1 pied (moyenne de 10 pieds)

| Traitements | Nbre de tiges | Hauteur des tiges en cm | Poids des tiges en g | Nbre des tubercules | Poids des tubercules en g | Poids des racines en g |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Témoin | 2,5 | 36,75 | 49,25 | 5,5 | 84,6 | 26,05 |
| C C C | 3,2 | 20,80 | 39,15 | 5,0 | 87,2 | 21,90 |
| Phosphon | 3,5 | 23,65 | 37,55 | 5,9 | 110,7 | 23,00 |
| acines oupées à oitié | 1,8 | 33,20 | 42,00 | 4,2 | 82,1 | 18,50 |
| ffeuillage la base | 2,8 | 24,40 | 33,50 | 4,6 | 76,1 | 20,40 |
| acines cou- es + Effeu. | 2,6 | 27,80 | 38,90 | 4,6 | 59,4 | 13,40 |

CV = 8,4 % Fc = 3,24 Ft = 2,37 (Nbre. tubers)

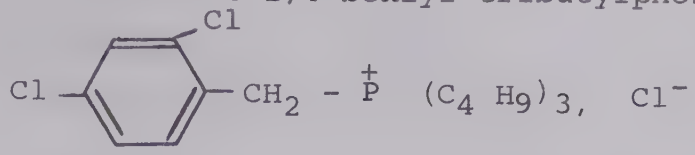
CV = 11,6 % Fc = 2,92 Ft = 2,37 (Pds tubers)

TABLEAU n° II - 3eme essai en serre

mesures pour 1 pied (moyenne de 10 pieds)

| Traitements | Hauteur des fanes en cm le 31 Mars | Nbre de tubers. | Pds des tubers. en g |
|---|---|---|---|
| émoin | 26,4 | 3,8 | 53,48 |
| CC | 14,6 | 7,4 | 48,08 |
| $B^9$ | 14,0 | 4,0 | 52,94 |
| ide Gibbérellique | 92,6 | 15,6 | 56,58 |
| 4 D | 31,6 | 5,2 | 59,50 |
| ffeuil. de la base | 40,4 | 4,8 | 81,36 |
| acines coupées 1/2 | 16,0 | 4,2 | 49,94 |
| acines coupées 2/3 | 23,6 | 4,8 | 44,10 |
| ffeuil. + racines oupées 1/2 | 42,6 | 6,2 | 112,48 |
| . G. + $B^9$ | 73,4 | 12,2 | 31,38 |

- Phosphon = Dichloro 2,4 benzyl tributylphosponium chlorure




La lecture du tableau n°II montre une fois de plus assez bien l'antagonisme croissance-tubérisation, il est toutefois étrange de constater que le traitement effeuillage de la base a, par contre, formé plus de tubercules malgré une hauteur de fanes supérieure à celle du témoin. Enfin, comme dans chaque essai,l'ablation des racines a stoppé la végétation et favorisé le nombre de tubercules formés;

Il est à noter que cet essai a eu lieu en jours courts et à une température moyenne de 18° de jour et 15° de nuit. Tous les traitements ont favorisé la tubérisation, l'acide gibbérellique tout en accélérant la croissance induit un grand nombre de tubercules déformés en une sorte de croissant, de plus les tubercules se constituent en chapelet comme dans le phénomène de la repousse. Le 2 4 D a rendu les hauts de tiges très fileurs. Enfin, dans cet essai, la combinaison effeuillage plus ablation des racines se montre le traitement physique le plus favorable à la tubérisation.

4 - 4ème essai et 4 bis

Ces deux essais ont été plantés avec la variété Bintje le 15 février, la récolte a eu lieu le 20 juillet. Culture en vermiculite alimentée avec la solution nutritive décrite précédemment. Le 4ème essai a été réalisé en pots de 9 cm de diamètre et l'essai 4 bis en pots de 28 cm de diamètre. Le CCC en pulvérisation a été utilisé à la dose de 3 g de matière active par litre d'eau et en trempage à la même dose. Les traitements physiques ont été réalisés le 19 avril sur des plantes à tubérisation déjà induite pour l'essai 4 bis et le 28 mars pour l'essai 4. Les températures dans cet essai ont été de 15° de nuit et de 20 à 30° de jour. La différence éventuelle entre les deux essais, plantés le même jour, concerne le poids de tubercules obtenu en fonction du diamètre du pot. D'autre part, nous sommes intervenus pratiquement un peu tard dans l'essai n° 4 ce qui se traduit par une faible action sur le nombre de tubercules formés; par contre, dans l'essai 4 bis où nous avons procédé à l'ablation des racines trop tardivement, nous avons cassé des stolons porteurs d'ébauches qui ne se sont pas reconstitués.

Dans cet essai, l'effeuillage ne s'est pas avéré trop nocif en comparaison de l'ablation des racines. Les traitements au CCC en pulvérisation se montrent toujours phytotoxiques par l'apparition de chlorose sur le feuillage. Le trempage 5 minutes s'avère très intéressant sur l'induction, alors qu'une durée de 25 minutes se montre très phytotoxique.

TABLEAU N° III - ESSAI EN SERRE N° 4

MESURES POUR 1 PIED - (MOYENNE de 10 PIEDS)

| Traitements | Poids des tubercules en g. | Nombre de tubercules | Nombre de gros tubercules | Nombre de petits tubercules | Poids sec tiges + racines |
|---|---|---|---|---|---|
| Témoin | 72,4 | 3,8 | 2,4 | 1,4 | 12,2 |
| CCC pulv. | 71,8 | 3;4 | 2,0 | 1,4 | 12,1 |
| CCC trempage 5 mn | 85,8 | 5,4 | 2,2 | 3,2 | 16,4 |
| CCC trempage 25 mn | 30,6 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 10,2 |
| Racines coupées à 1/2 | 73,8 | 3,4 | 2,4 | 1,1 | 11,1 |

TABLEAU N° IV - ESSAI N° 4 BIS

MESURES POUR 1 PIED - (MOYENNE DE 5 PIEDS)

| Traitements | Poids des tubercules en g. | Nombre de tubercules | Nombre de gros tubercules | Nombre de petits tubercules |
|---|---|---|---|---|
| Témoin | 128,00 | 5,3 | 3,8 | 1,5 |
| Effeuillage | 109,65 | 4,8 | 2,7 | 2,1 |
| Effeuillage + racines coupées | 38,25 | 2,0 | 1,5 | 0,5 |
| Racines coupées 1/2 | 39,45 | 2,1 | 1,5 | 0,6 |

## 5 - Discussion sur les essais réalisés en serres

A la suite des 5 essais que nous avons réalisés en serres nous pouvons dégager un certain nombre de faits nous permettant de confirmer les hypothèses avancées dans la discussion générale des essais de plein-champ.

a - l'ablation d'une partie du système racinaire avant la formation des stolons, ou tout au moins des ébauches sur les stolons, stoppe la plante dans sa croissance durant un certain temps. Ce retard de croissance n'est pas dans les conditions de la serre rattrapé par la suite. Par contre, le nombre de tubercules formés est généralement :
   - amélioré → si l'induction n'a pas eu lieu.
   - diminué → et cela de plus en plus, si l'on s'éloigne de la phase d'extériorisation de la tubérisation et que les ébauches deviennent en fait des tubercules vrais.

b - l'antagonisme croissance-tubérisation semble bien confirmé car tous les traitements mis en oeuvre pour stopper la croissance à la bonne époque, c'est-à-dire avant la formation des ébauches sur le stolon, augmentent le nombre de tubercules formés.

c - avant la période critique d'extériorisation, la plante, si on lui enlève des racines, reconstitue le potentiel végétatif perdu (essais n° 1 et 4).

d - une ablation tardive d'une partie du système racinaire et de quelques stolons s'avère, comme en plein champ, particulièrement néfaste à la plante. A partir d'un certain stade végétatif, la plante n'a plus une potentialité de croissance suffisante pour induire de nouveaux tubercules sur les stolons et l'on se retrouve à la récolte avec moins de tubercules et un rendement réduit.

e - un des facteurs mis en oeuvre dans ces essais, l'effeuillage de la base des plantes, (en général la suppression de trois feuilles), manifeste des réactions très variables selon les essais : soit diminution de croissance, soit augmentation de croissance et de tubérisation. Si on analyse les divers cas, on s'aperçoit que, comme pour l'ablation des racines le résultat est fonction de l'époque d'intervention :

. trop tardive dans le 2ème essai
on a une diminution de taille et du nombre de tubercules formés.

. légèrement tardive dans l'essai 4 bis
on a un résultat presque équivalent au témoin mais inférieur.

. intervention précoce dans l'essai n° 3
on a une augmentation de la croissance et du nombre de tubercules formés.

Ce qui est confirmé par la combinaison ablation + effeuillage. Le résultat est très surprenant et difficilement explicable, le seul élément certain est l'importance des premières feuilles de la touffe jusqu'à l'extériorisation de la tubérisation.

f - l'action des divers régulateurs de croissance a confirmé l'idée générale : réduire la croissance favorise le nombre de tubercules formés sans forcément d'ailleurs accroître le rendement. Toutefois, il faut être prudent dans l'interprétation des résultats avec des produits qui jouent sur l'ensemble du métabolisme de la plante. Par exemple, le CCC est un inhibiteur des gibbérrelines endogènes et s'il stoppe la croissance, il modifie aussi l'équilibre hormonal de la plante et il n'y a pas à ce moment-là que le facteur croissance qui se trouve en cause, il n'est que l'extériorisation d'un mécanisme plus complexe.

Néanmoins, on peut admettre que le phosphon et le $B^9$ ne sont pas phytotoxiques aux doses utilisées sur le feuillage, par contre le CCC en serres à 3 g/l induit de fortes chloroses nécrotiques sur le feuillage. Le trempage des tubercules dans le CCC à 3 g/l durant 5 mn semble avoir une action bénéfique sur la tubérisation sans phytotoxicite mais l'étude agronomique de ces produits est par contre du ressort de l'expérimentation de plein champ et il est difficile de tirer des conclusions de trois essais en serres en conditions artificielles pour la pomme de terre.

Pour ce premier essai, nous avons tenté à partir des salles disponibles, de nous rapprocher au maximum des conditions de croissance normale d'une pomme de terre. C'est pourquoi, nous avons basé notre expérience sur la salle jour long avec alternance de température, c'est-à-dire 8 heures de nuit à 12° et 16 heures de jour à 22°. Le passage au froid a été réalisé dans une salle à 5° présentant la même photopériode. Afin d'avoir des termes de comparaison nous avons placé, un lot à 22° constant durant toute l'expérience, un autre lot avec passage à 12° constant durant 10 jours pour tester l'influence des températures de nuit ou de jour par rapport à 22° constant et à l'alternance 22 - 12°.

Nous avions donc 4 facteurs en comparaison en jours longs.

22° constant
22° - 12°
22° - 12°/5° durant 10 jours/ 22°-12°
22° - 12°/12° " " " / 22°-12°

L'essai a été planté le 2 mars avec du plant Bintje classe Elite récolté à l'automne précédent et conservé en chambre froide à 5° jusqu'à 20 jours avant la plantation. La prégermination a eu lieu à une température de 15°. La récolte de l'essai a eu lieu le 2 juin, soit approximativement après 90 jours de végétation. Les plantes ont été mises en pots de 12, nous avons procédé à l'enlèvement des germes de manière à n'en laisser qu'un par tige. L'intensité lumineuse durant toute l'expérience a été de 14.000 lux. La culture se fait sur vermiculite, avec un apport de solution nutritive.

Les résultats sur les diverses variables contrôlées figurent dans le tableau n° V et le graphique n° I.

Le 26 mars, les plantes à 22° constant, mesuraient en moyenne 20 cm, avaient un chevelu abondant et aucune tubérisation apparente. Les plantes à 22 - 12° mesuraient environ 12 cm et ne présentaient pas de tubérisation apparente. Le 20 avril, nous avons passé les lots devant aller à 5° et 12° constant pendant 10 jours dans les salles correspondantes. La hauteur des fanes étaient en moyenne de 25 cm et les ébauches étaient apparentes. Les plantes ont été sorties le 30 avril des salles à 5 et 12°. Les résultats mentionnés représentent la moyenne de 12 plantes.

TABLEAU N° V

RESULTATS DU 1er ESSAI PHYTOTRON POUR 1 TOUFFE

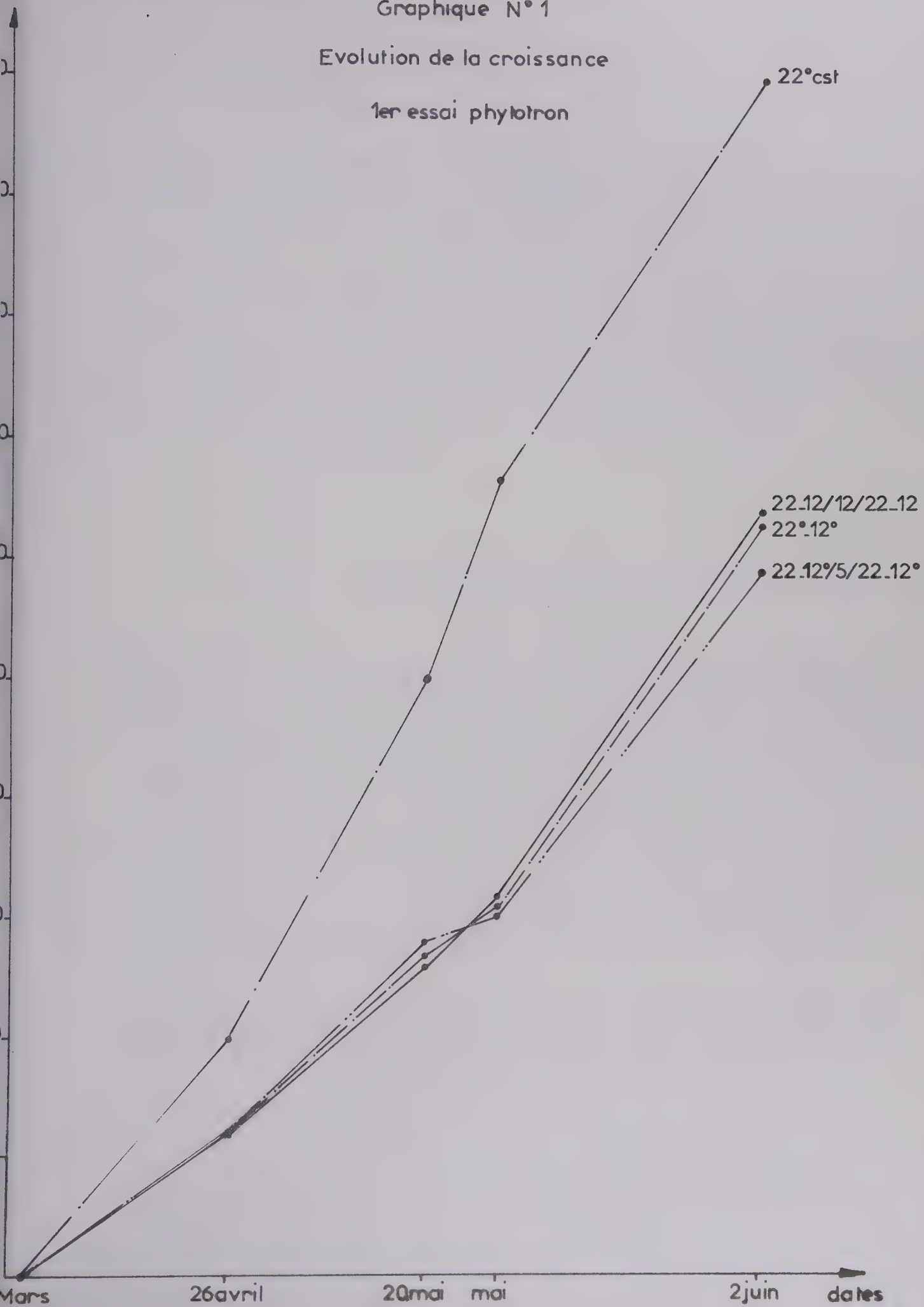
| Traitements | 22° constant | 22 - 12° | 22-12/5/22-12 | 22-12/12 22-12 |
|---|---|---|---|---|
| Hauteur des tiges le 30/4 en cm | 66,71 | 31,76 | 30,25 | 31,00 |
| Hauteur des tiges le 2/6 en cm | 102,71 | 62,92 | 59,75 | 63,25 |
| Nombre de tubercules | 3,28 | 3,92 | 5,08 | 4,66 |
| Longueur des racines en cm | 19,14 | 16,61 | 14,58 | 16,08 |
| Poids des racines en g | 42,85 | 29,16 | 22,50 | 22,50 |
| Poids des tubercules en g | 59,28 | 40,00 | 55,41 | 52,91 |

A la lecture de ces résultats, il ressort avec évidence que ce sont les températures de nuit qui ont une importance primordiale sur l'induction de la tubérisation. En effet, si nous comparons les facteurs 22-12° permanent, à la même séquence de température mais avec passage à 12° constant pendant 10 jours, on trouve le même nombre de tubercules formés et une croissance similaire. Par contre le facteur 22° constant amène une croissance supérieure et un nombre de tubercules inférieur; enfin, nous voyons que c'est le passage à 5° pendant 10 jours, soit une baisse de température de 7° par nuit de 8 heures pendant 10 jours, qui induit le plus de tubercules et donne la croissance la plus faible, bien que de façon non significative. Ce premier résultat va parfaitement dans le sens des travaux de GREGORY, à savoir que ce sont les températures basses de nuit qui en diminuant la croissance favorisent la tubérisation.

Graphique N° 1

Evolution de la croissance

1er essai phytotron



## 2ème essai Phytotron

A la suite des résultats intéressants obtenus lors de notre premier essai et montrant l'importance des températures de nuit sur la tubérisation nous avons décidé d'une part de confirmer ces résultats et d'autre part, de préciser un peu plus le phénomène température.
Afin d'avoir une idée plus précise de l'action de la température nous avons été conduits à abandonner toute idée de recherche de similitude avec les conditions extérieures écologiques d'une culture de pommes de terre et de définir des systèmes de croissance parfaitement théorique mais risquant de faire ressortir un maximum de différences entre les facteurs mis en comparaison.

Les facteurs températures choisis ont été les suivants :

- 27° constant
- 22° "
- 17° "
- 12°
- 22° - 12° de jour et de nuit
- 22° - 12° de jour et de nuit avec passage 14 jours à 5°
- 22° - 12° avec passage 14 jours à 12°

Toutes les salles sont à la même photopériode, c'est-à-dire 8 heures de nuit et 16 heures de jour. L'essai comme d'habitude a été planté avec la variété Bintje. Les tubercules mères avaient été récoltés en septembre. La plantation a eu lieu le 24 novembre. Les tubercules entre temps avaient été conservés en germoir à une température de 8 à 10°. L'essai a été planté en pots de 16 cm de diamètre toujours sur vermiculite avec apport de solution nutritive. Nous n'avons pas excisé les yeux afin de réaliser une culture monotige, dans la crainte, étant donné le peu d'incubation des tubercules, d'avoir un manque à la levée. Etant donné quelques ennuis dans le premier essai avec des tubercules atteints de Rhizoctonia solani, nous avons désinfecté les tubercules mères au méthyl-thiophanate à raison de 50 g de matière active pour 10 litres d'eau pendant 4 minutes.

Nous avons disposé de deux chariots par salle soit 18 pots par facteur testé. L'essai comme le premier s'est déroulé sous une intensité de 14.000 lux et à humidité relative de 70 %.

Tableau n° VI

2ème Essai Phytotron - évolution de la croissance en cm (moyenne de 18 pieds)

| Traitements | 29/12 | 13/1 | 31/1 | 9/2 | 15/3 |
|---|---|---|---|---|---|
| Salle à 12° | 1,62 | 11,8 | 31,2 | 41,0 | 90,6 |
| Salle à 17° | 12,2 | 33,6 | 62,4 | 79,7 | 156,7 |
| Salle à 22° | 25,4 | 68,0 | 108,0 | 140,0 | 193,1 |
| Salle à 27° | 23,9 | 69,1 | 115,2 | 161,2 | 210,0 |
| Salle à 22 - 12° | 0,6 | 19,3 | 54,1 | 75,6 | 163,2 |
| Salle à 22 - 12 passage à 12° | 0,4 | 20,0 | 49,3 | 74,6 | 146,0 |
| Salle à 22 - 12 passage à 5° | 4,2 | 22,7 | 29,0 | 41,2 | 124,0 |

Tableau n° VII

2ème essai Phytotron - Résultats à la récolte finale

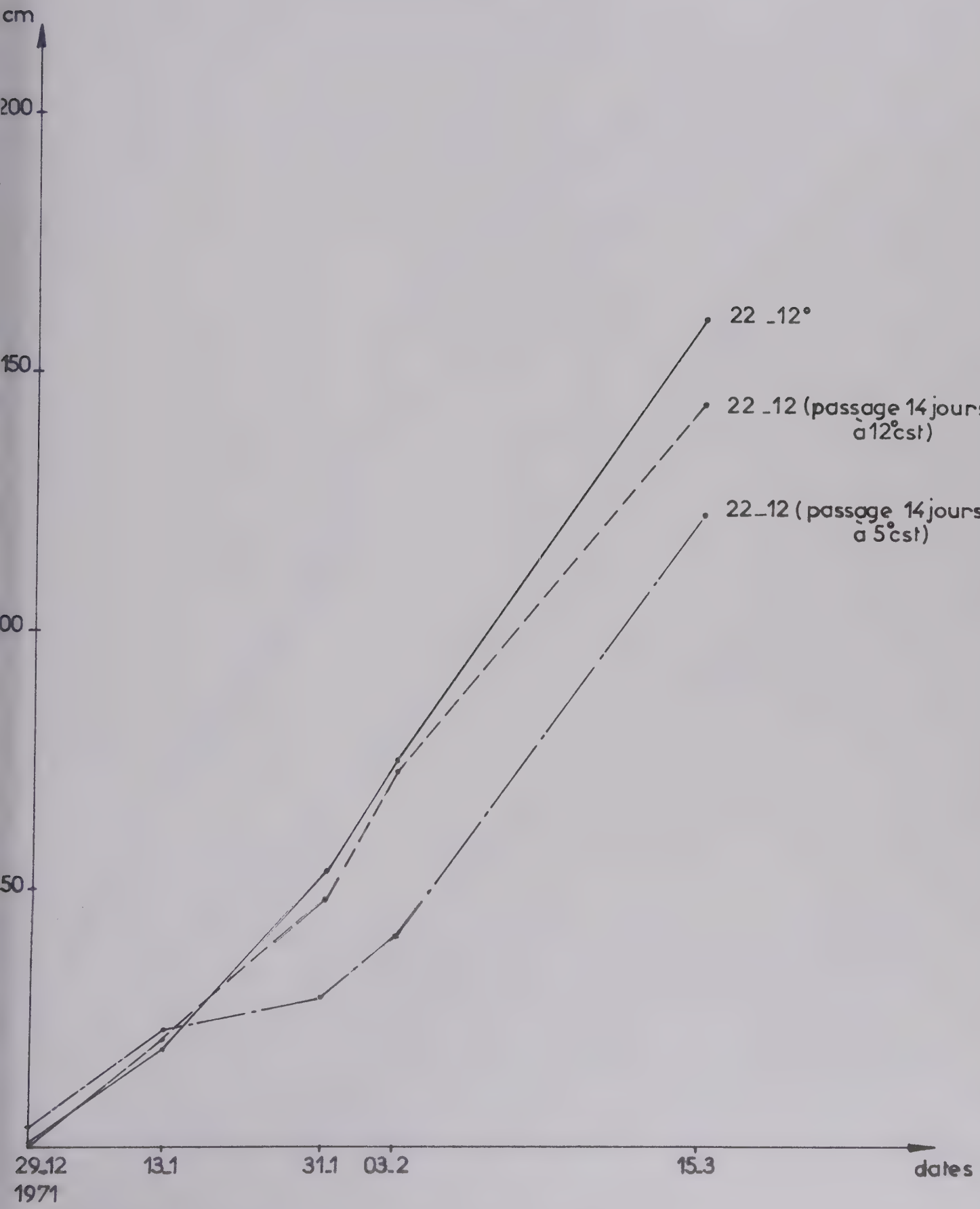
| Traitements | Nbre des tiges | Hauteur des fanes en cm | Pds des tubers. en g | Pds des racinnes + Stollons | Pds des Fanes | Nombre de tubercules | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Total | Gros | Ebauches |
| 12° | 3,22 | 90,67 | 235,30 | 87,38 | 386,0 | 28,49 | 17,87 | 10,62 |
| 17° | 2,88 | 156,75 | 51,43 | 57,56 | 389,5 | 9,87 | 9,87 | non observé |
| 22° | 2,11 | 193,12 | - | 15,85 | 235,5 | - | - | - |
| 27° | 1,55 | 210,00 | - | 12,43 | 278,2 | - | - | - |
| 22 - 12° | 2,22 | 163,2 | 4,87 | 102,90 | 545,0 | 3,09 | 1,03 | 2,06 |
| 22-12°/12° | 2,00 | 146,0 | 28,22 | 95,20 | 557,9 | 13,21 | 3,88 | 9,33 |
| 22-12°/5° | 2,87 | 124,0 | 81,00 | 61,73 | 386,7 | 28,30 | 11,50 | 16,70 |

Graphique N° 2

1972

Evolution de la croissance GIF

2é.essai

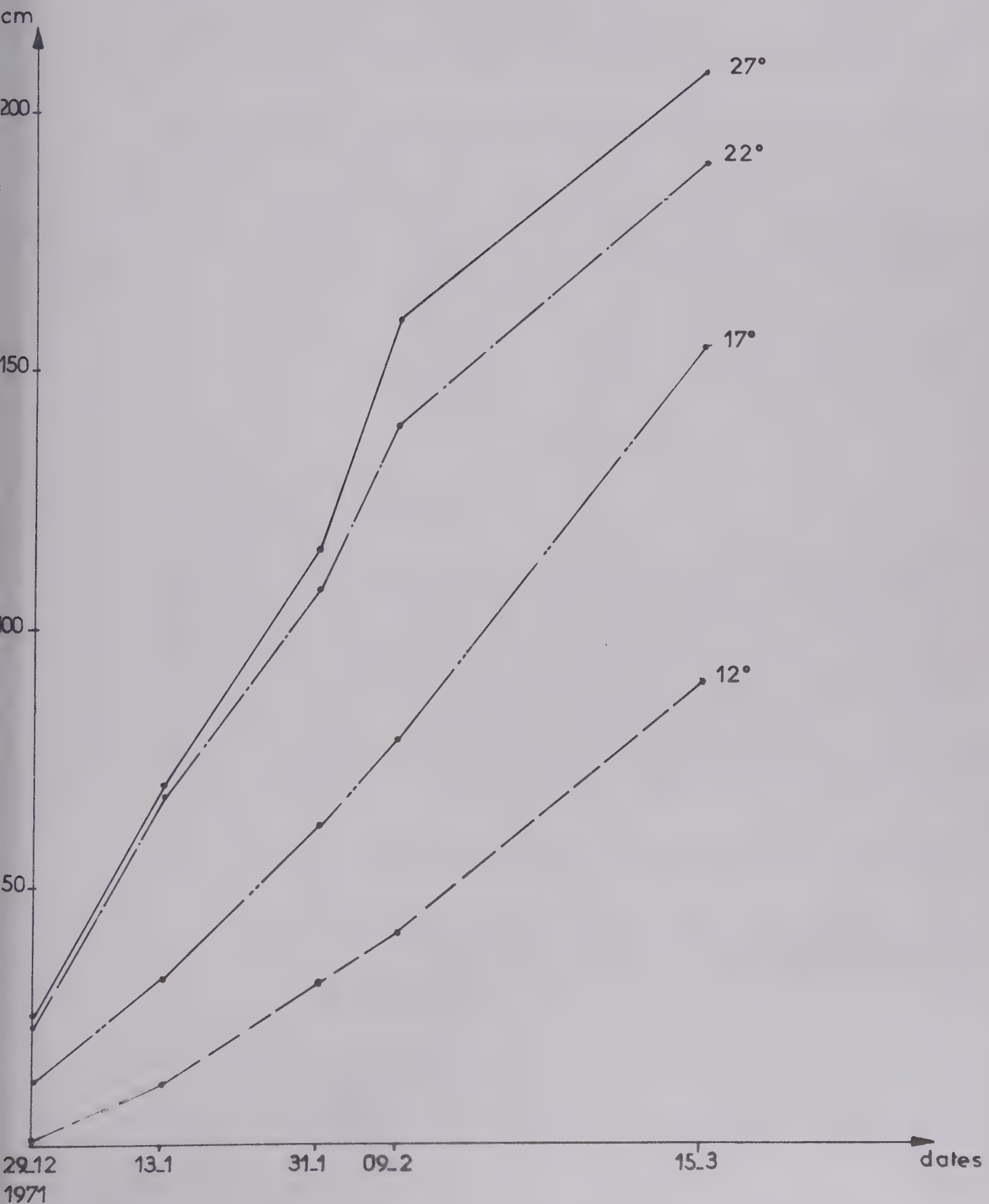


Graphique N° 3

1972

Evolution de la croissance GIF

2é essai



Les passages dans les salles 5 et 12° ont eu lieu du 16 janvier au 31 janvier.
La récolte a eu lieu le 15 mars après 114 jours de végétation.
Les résultats obtenus : mesure de croissance en cours de végétation et récolte finale avec mensuration de diverses variables figurent dans les tableaux n° VI et VII et sur les graphiques n° II et III.

Des contrôles, par simple dépotage, nous ont permis de constater aux dates suivantes que :

| | |
|---|---|
| le 29-12 | il n'y avait aucune tubérisation nulle part |
| le 13-1 | il n'y avait aucune tubérisation nulle part |
| le 31-1 | présence de tubérisation à 12 et 17° et premières ébauches visibles à 22-12° avec passage à 5° |
| le 9-2 | 22 - 12° et passage à 5° tubérisation très marquée |
| | 22 - 12° et passage à 12° premières ébauches visibles |
| | 22 - 12° rien de visible |

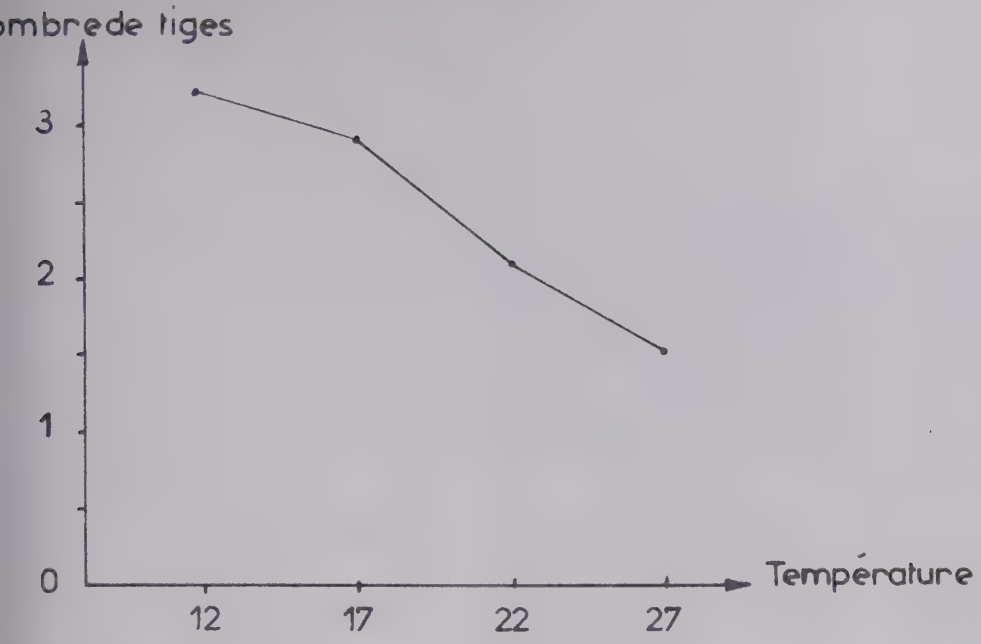
## DISCUSSION DES RESULTATS

Un point important à mettre en évidence, avant toute considération portant sur les résultats, concerne l'âge des tubercules mères utilisés : il s'agissait de tubercules jeunes non induits récoltés depuis 40 jours. Du fait de cette faible incubation, nous avons obtenu un comportement physiologique plus proche de celui d'une plante issue de bouture que de celui d'une plante poussant avec un tubercule mère normalement incubé. Ce point à notre sens est très important car les résultats obtenus dans cet essai sont un reflet assez exact des facteurs mis en oeuvre,indépendamment de l'action du tubercule mère toujours importante sur le phénomène de tubérisation.

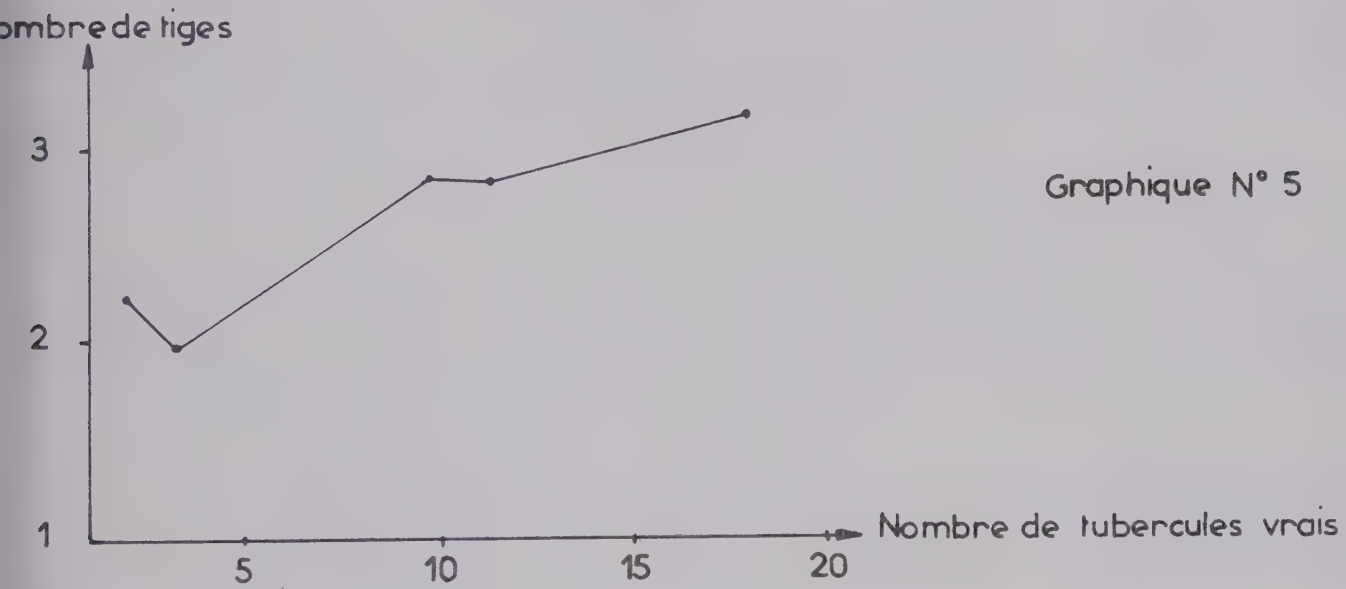
Les principales remarques que nous pouvons faire à la suite de cet essai sont :

a - la croissance est fonction de la température : les plantes les plus hautes étant aux températures les plus élevées, les plantes les plus basses à la plus faible température.

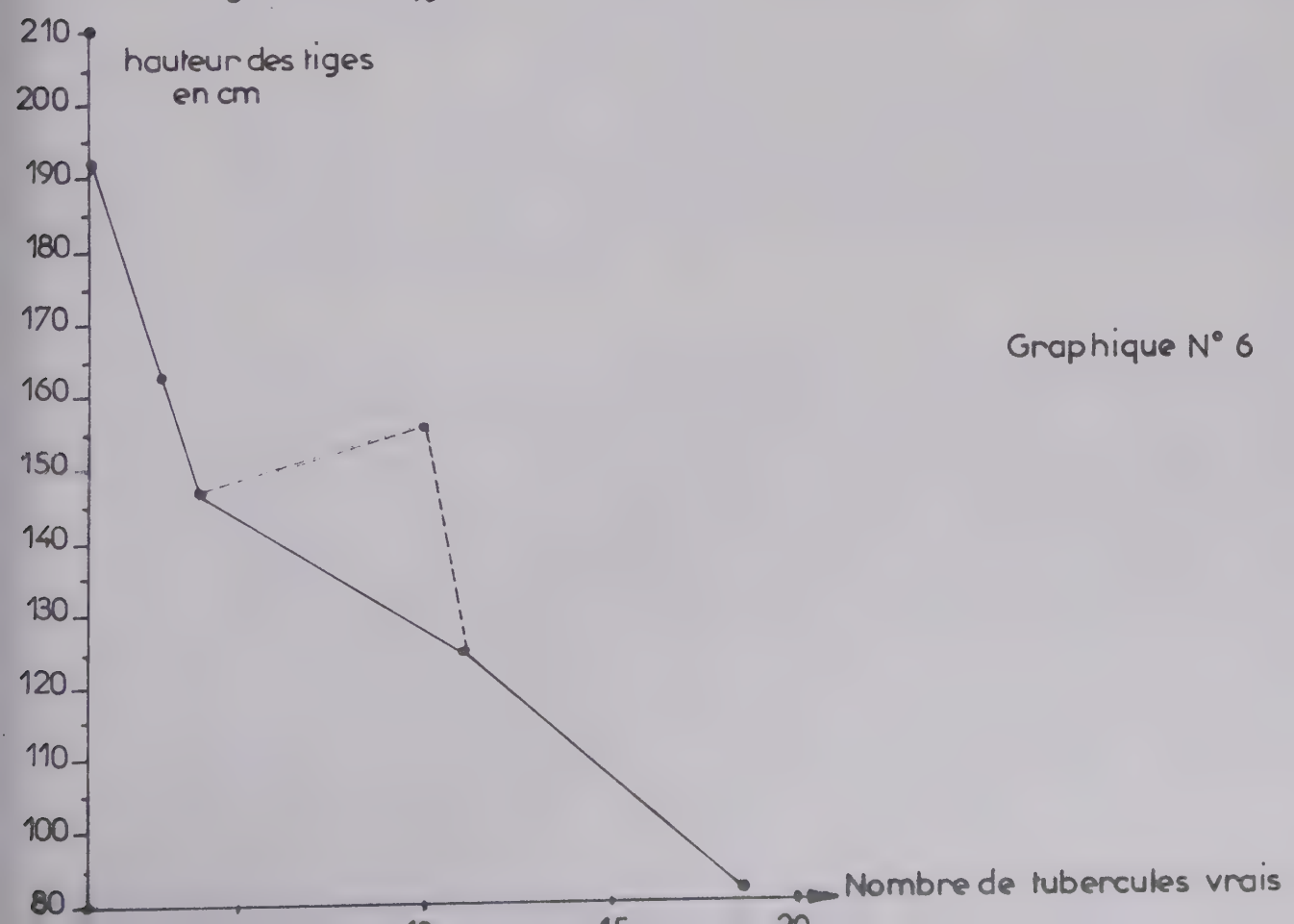
b - le nombre de tiges formé semble lui aussi fonction de la température, mais à l'inverse ce sont les températures les plus basses qui donnent plus de tiges et les températures élevées le moins de tiges.




Graphique N° 4




Graphique N° 5




Graphique N° 6

c - il nous est apparu intéressant de réaliser les sommes de température de nuit reçues par les plantes quel que soit le facteur considéré durant les 14 jours qui ont précédé, puis suivi, les modifications de thermopériode. Nous avons donc eu pour les températures constantes trois séquences identiques de température et pour le passage à 5° une séquence modifiée sensiblement, ce qui nous donne :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 12° constant | 8 x 14 x 3 x 12 | = 4032° | Log. = 3,60 |
| 17° " | 8 x 14 x 3 x 17 | = 5712° | Log. = 3,75 |
| 22° " | 8 x 14 x 3 x 22 | = 7392° | Log. = 3,86 |
| 27° " | 8 x 14 x 3 x 27 | = 9072° | Log. = 3,95 |
| 22° - 12° | 8 x 14 x 3 x 12 | = 4032° | Log. = 3,60 |
| 22° - 12/12° | 8 x 14 x 3 x 12 | = 4032° | Log. = 3,60 |
| 22° - 12/. 5° | (8x14x2X12)+(8x14x5) | = 3248° | Log. = 3,51 |

Il est curieux de comparer les trois valeurs de log. 3,60

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 12° constant = log. 3,60 | croiss. = 90,67 | nbre tub. = 17,8 | poids = 235 g |
| 12 - 22° = log. 3,60 | croiss. =163,20 | nbre tub. = 1,03 | poids = 4,9g |
| 12-22°/12° = log. 3,60 | croiss. =146,20 | nbre tub. = 3,8 | poids = 28,2g |

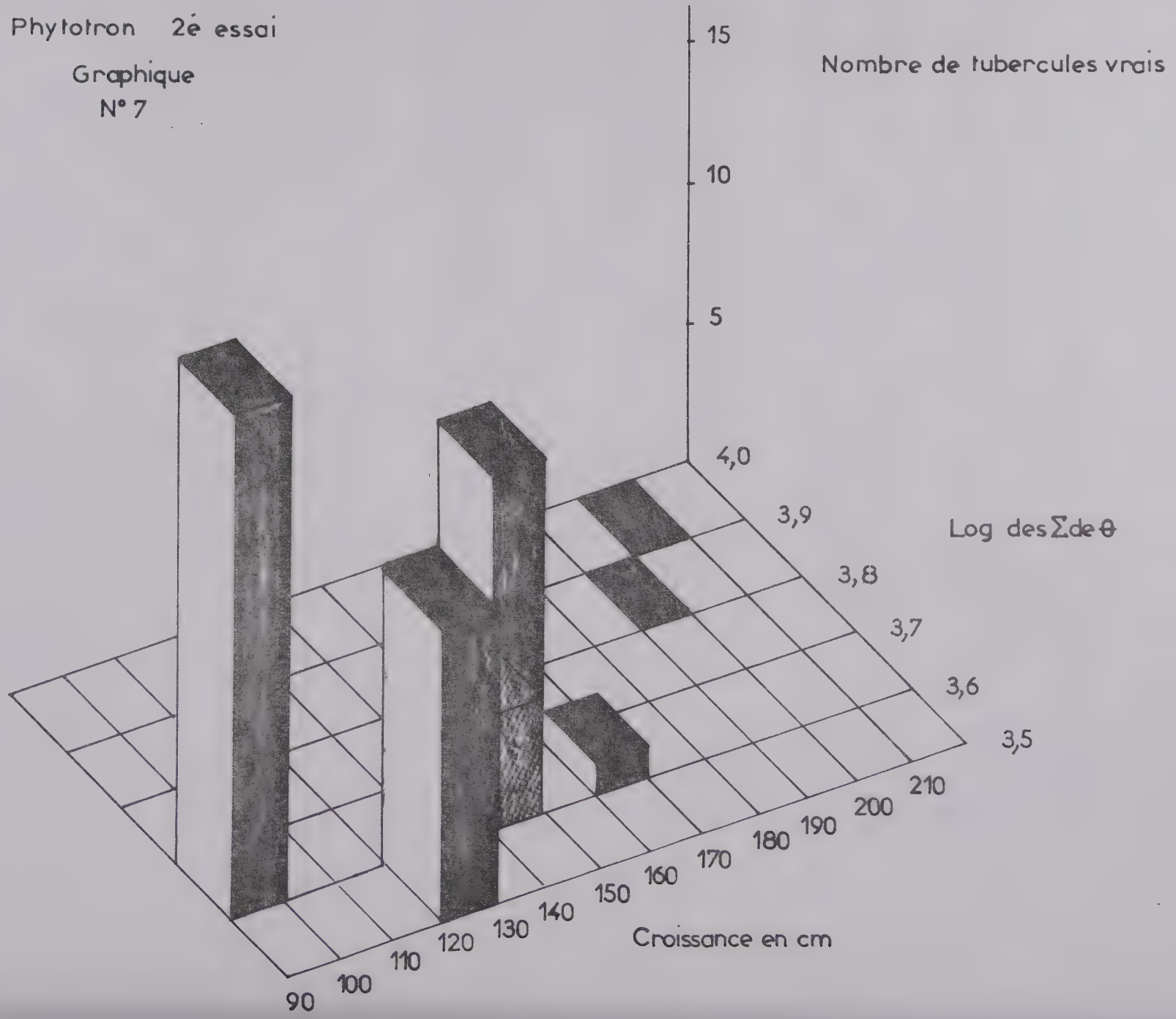
D'après MILTHORPE, si nous considérons uniquement les sommes de température de nuit nous devons obtenir le même nombre de tubercules pour une même somme de température aux variations expérimentales près.

Or, nous constatons de fortes différences dans le nombre et le poids des tubercules formés à une somme identique d'induction. Mais nous observons dans le graphique n° VI que le nombre de tubercules formés est lié à la croissance des fanes et que celle-ci est liée vraisemblablement à la température de jour d'où les différences observées.

En fait, la théorie de GREGORY est vraie essentiellement à température constante ou à une température variable de nuit mais identique de jour, sinon on retrouve le problème d'antagonisme croissance/tubérisation. Or, la croissance est liée aux températures de jour comme le montrent nos essais où, plus la température diurne est élevée plus la croissance est importante. Le graphique n° VII permet de voir que le problème est complexe, le nombre de tubercules formés étant la résultante d'au moins deux forces :

Phytotron 2é essai

Graphique
N° 7



- température de nuit : plus ou moins industrice de la tubérisation
- température de jour : plus ou moins activatrive de la croissance.

En clair, cela signifie que les températures de jour élevées activent la croissance qui elle-même inhibe la tubérisation obtenue par des températures de nuit basses. On assiste vraisemblablement, dans la nature, à un véritable duel entre températures de jour et de nuit comme le précisent les trois valeurs de Log 3,60 qui correspondent à des sommes de températures de nuit identiques, mais avec des sommes de températures de jour très différentes. Enfin, dans cet essai nous n'avons pas inclu l'action du tubercule mère qui, dans la pratique, représente une troisième force très agissante ainsi que le montrent nos propres essais de pleins champs et du phytotron. Cette importance du tubercule mère nous est confirmée par la comparaison entre nos deux premiers essais au phytotron : dans le premier essai, à conditions extérieures strictement égales au deuxième essai, nous avons obtenu une tubérisation à 22° et ce uniquement grâce à l'action du tubercule mère. Il est remarquable de constater qu'un tubercule mère induit, limite la croissance très fortement, d'où la grande difficulté à comparer les résultats de divers chercheurs si l'on n'a pas à la fois une connaissance parfaite :des températures lors de la croissance et de l'état du tubercule mère avant plantation.

d - Si nous revenons à l'idée de départ de notre modèle, nous nous apercevons, une fois de plus, que le simple passage à 5° pendant I4 jours a permis d'accroître la tubérisation très fortement. La croissance est elle-même bloquée momentanément mais ne rattrape pas celle des plantes restées à 22 - I2° ;

e - Dans l'optique modèle théorique, la démonstration que les températures de jour plus élevées activent la croissance, nous rapproche des données relevées aux champs. Là, les parcelles non travaillées subissent des fluctuations thermiques plus importantes et présentent une accélération de croissance significative mais qui se trouve modulée par des températures de sol plus basses la nuit ;

f - Ce 2ème essai nous permet en fait de nuancer certaines affirmations de GREGORY quant à l'action de la température sur la tubérisation, en prenant en compte la température de jour qui module la croissance qui elle-même antagonise la tubérisation.

Dans cet essai, devant les résultats particulièrement intéressants que nous avons observés, nous avons tenté d'analyser un certain nombre de substances dans deux lots extrêmes, celui ayant tubérisé au maximum, I2° constant. et celui n'ayant pas tubérisé du tout, 27 ° constant. Nous avons essayé de rechercher par dosage biologique trois types de substances :

- des auxines ;
- des gibbérellines ;
- des kinétines ;

Nous avons, pour ce faire, utilisé les techniques au point par J.P. NICHST et C. NICHST.

Nous avons échoué dans la recherche des kinétines en utilisant directement les jus d'extraction au méthanol, sans purification spéciale vis-à-vis des composés phénoliques qui ont complètement inhibé la croissance des moelles de tabac utilisées pour ce test. Il sera sans doute nécessaire de bloquer les phénols en mélangeant du PEG 60 à 2 % au milieu, dès la première extraction avec le méthanol afin d'obtenir une action valable des cytokinines sur la croissance de la moelle de tabac.

Nous avons, par contre, obtenu des résultats particulièrement intéressants dans le test mésocotyle d'avoine pour les substances du type auxine. Il s'agissait pour nous d'une première expérience avec ce test. Nous avons suivi avec exactitide les recommandations de NICHST ainsi que le matériel à utiliser. Le test a été réalisé à Gif-sur-Yvette au Laboratoire de Physiologie Pluricellulaire. Toutefois, un incident dû à un mauvais calcul du temps de découpage des chromatogrammes, nous a obligés à laisser les coléoptiles 5 heures dans l'eau au lieu d'1 heure normalement. Mais J.P. NISCHT et C. NICHST ont montré que si la durée de trempage des coléoptiles modifiait en valeur absolue la réponse à l'AIA, en valeur raltive le test restait valable étant donné que l'effet passait par un maximum au bout d'une heure de trempage puis baissait progressivement.

Les résultats de ce test figurent dans le tableau VIII et sur les graphiques n° VIII à XIX.

La comparaison relative des résultats obtenus permet de dégager un certain nombre de considérations entre les plantes ayant tubérisé ou non.

Il est nécessaire tout d'abord de rappeler :

- a) que les plantes venant de 27° n'avaient pas de tubercules ni de stolons ;

- b) que la quantité globale de substances retrouvées à I2° porte à la fois sur stolons, racines et tubercules en phase acétate et butanol contre uniquement les racines aux deux phases pour les plantes venant de 27°.

Dans le but de réaliser une mesure globale, sans différencier les Rf, nous avons découpé les histogrammes et procédé à leur pesée pour évaluer les rapports de substances entre feuilles et organes souterrains. Cette méthode est peut être critiquable d'un point de vue biologique strict, mais sur un plan pratique orientatif, elle donne une excellente idée à notre sens des différences entre les deux lots comparés, ce qui représente pour nous le but recherché.

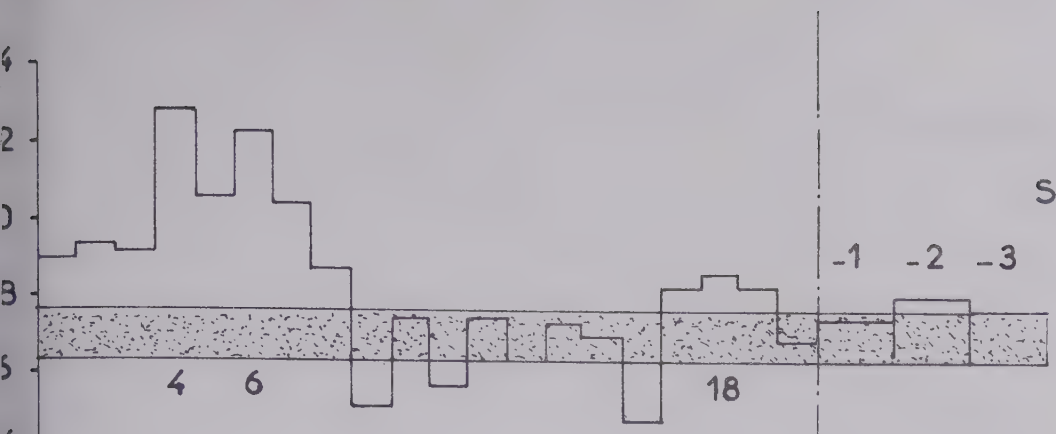
Tableau n° VIII - Résultats du test coléoptile d'avoine

| rF / facteurs | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | -1* | -2* | -3* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| feuilles 12° butanol | 51,6 | 55,2 | 52,6 | 64,6 | 73,4 | 62,0 | 67,8 | 71,6 | 78,0 | 86,8 | 66,6 | 54,0 | 52,2 | 47,0 | 46,4 | 46,2 | 44,6 | 48,0 | 47,4 | 47,2 | 57,0 | 47,4 | 48,0 |
| feuilles 27° butanol | 48,4 | 53,2 | 58,6 | 51,6 | 60,4 | 47,6 | 43,2 | 44,2 | 46,6 | 49,8 | 58,6 | 68,4 | 69,0 | 67,2 | 53,6 | 44,4 | 44,2 | 46,8 | 46,2 | 46,4 | 47,0 | 46,0 | 47,0 |
| racines 12° butanol | 49,4 | 47,0 | 48,8 | 51,0 | 45,0 | 48,4 | 47,6 | 46,2 | 45,0 | 47,0 | 48,8 | 48,0 | 48,2 | 48,2 | 47,4 | 46,8 | 49,0 | 47,8 | 47,4 | 48,2 | 47,0 | 50,2 | 46,0 |
| racines 27° butanol | 49,2 | 52,4 | 57,8 | 50,2 | 54,6 | 55,6 | 56,6 | 60,0 | 51,6 | 48,2 | 46,8 | 45,0 | 47,4 | 46,4 | 48,6 | 49,0 | 50,8 | 45,8 | 48,0 | 47,6 | 47,6 | 46,2 | 48,6 |
| stolons 12° butanol | 49,0 | 49,4 | 49,2 | 52,8 | 50,6 | 52,2 | 50,4 | 48,8 | 45,2 | 47,6 | 45,8 | 47,6 | 46,2 | 47,4 | 47,0 | 44,8 | 48,2 | 48,6 | 48,4 | 46,8 | 47,4 | 48,0 | 47,8 |
| racines 12° acétate | 50,0 | 49,2 | 48,8 | 50,4 | 49,4 | 49,0 | 49,8 | 53,4 | 54,8 | 49,2 | 50,4 | 51,0 | 50,0 | 48,6 | 47,8 | 51,0 | 51,8 | 48,4 | 48,2 | 48,2 | 49,6 | 48,2 | 48,6 |
| racines 27° acétate | 44,6 | 46,4 | 47,8 | 48,8 | 48,2 | 48,4 | 51,8 | 56,6 | 56,6 | 54,2 | 49,6 | 48,8 | 46,2 | 46,0 | 47,4 | 48,0 | 49,2 | 46,6 | 47,0 | 46,2 | 47,8 | 46,4 | 47,6 |
| feuilles 12° acétate | 50,4 | 53,0 | 54,2 | 54,2 | 56,0 | 53,8 | 67,8 | 73,6 | 64,6 | 57,8 | 47,6 | 48,0 | 48,6 | 49,0 | 47,6 | 49,2 | 49,0 | 47,6 | 48,6 | 48,2 | 50,4 | 48,0 | 48,6 |
| feuilles 27° acétate | 45,8 | 46,2 | 47,6 | 49,0 | 50,6 | 51,8 | 66,6 | 67,8 | 66,4 | 48,6 | 49,8 | 46,6 | 49,0 | 46,6 | 48,2 | 49,8 | 50,6 | 46,4 | 47,4 | 47,8 | 45,8 | 46,2 | 47,8 |
| stolons 12° acétate | 46,2 | 49,8 | 48,6 | 49,0 | 50,6 | 45,4 | 48,2 | 56,8 | 66,0 | 56,4 | 52,0 | 47,4 | 48,0 | 46,2 | 52,0 | 52,8 | 45,2 | 48,- | 48,0 | 49,8 | 47,6 | 48,4 | 48,6 |
| tubers. 12° acétate | 44,8 | 46,4 | 48,4 | 46,4 | 44,6 | 44,8 | 47,6 | 47,6 | 46,0 | 48,0 | 46,0 | 44,6 | 45,4 | 45,8 | 45,0 | 44,6 | 47,4 | 47,2 | 48,8 | 48,8 | 50,0 | 47,8 | 48,2 |
| tubers. 12° butanol | 48,6 | 50,8 | 57,2 | 57,4 | 68,2 | 58,2 | 58,2 | 50,6 | 50,2 | 52,0 | 53,8 | 50,0 | 51,4 | 52,4 | 49,2 | 49,6 | 49,0 | 47,4 | 45,0 | 47,6 | 47,4 | 46,8 | 45,4 |

Gamme témoin :
A I A

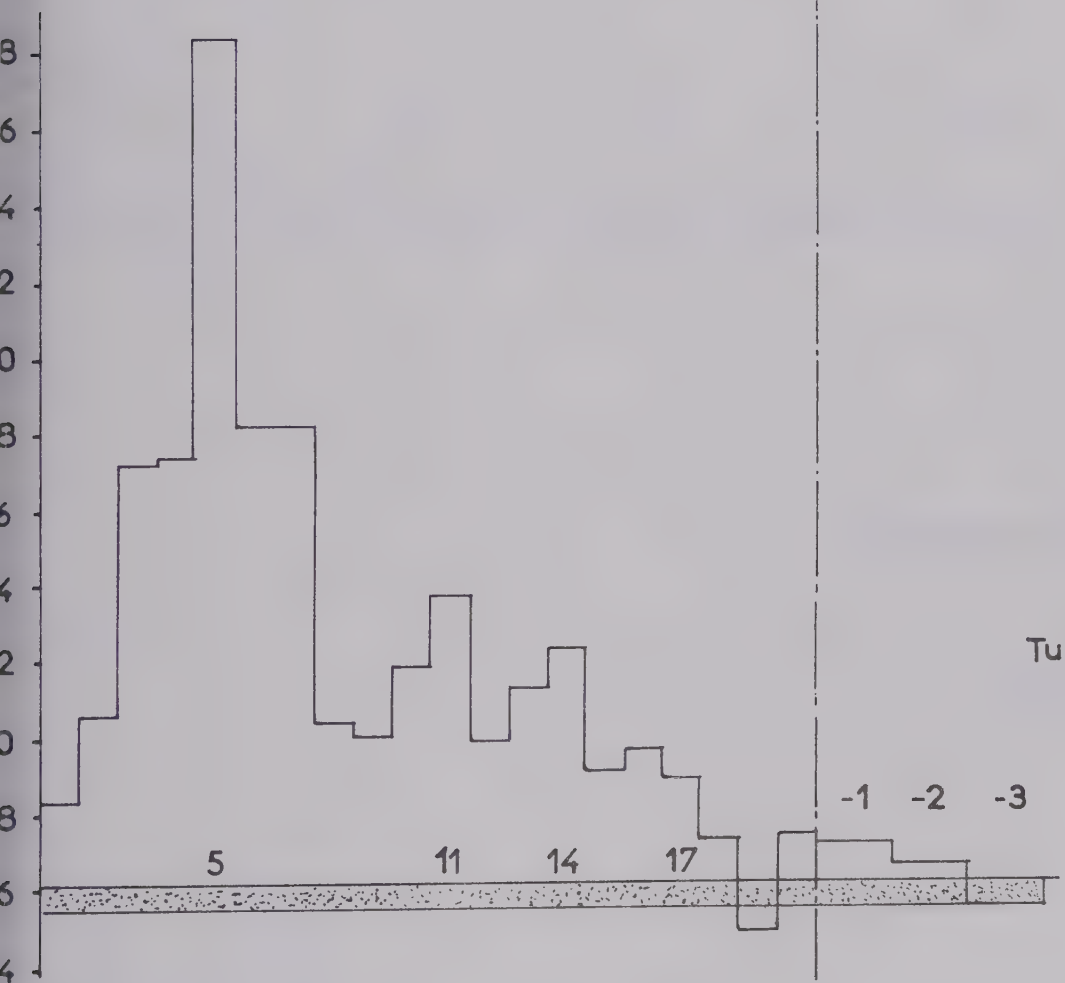
| | |
|---|---|
| 0 ♂ | 46,3 |
| 3 ♂ | 46,9 |
| 10 ♂ | 49,1 |
| 30 ♂ | 51,7 |

* - 1 = spot
* - 2 = sous le spot
* - 3 = au dessus du rf 10 = témoin



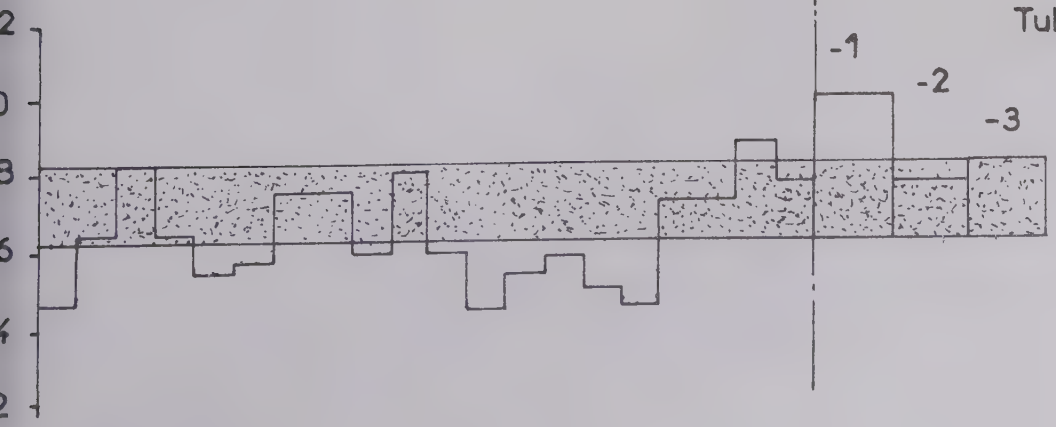

Stolons _ 12°_ Butanol

Graphique N° 8




Tubercules _ 12°_Buthanol

Graphique N° 9

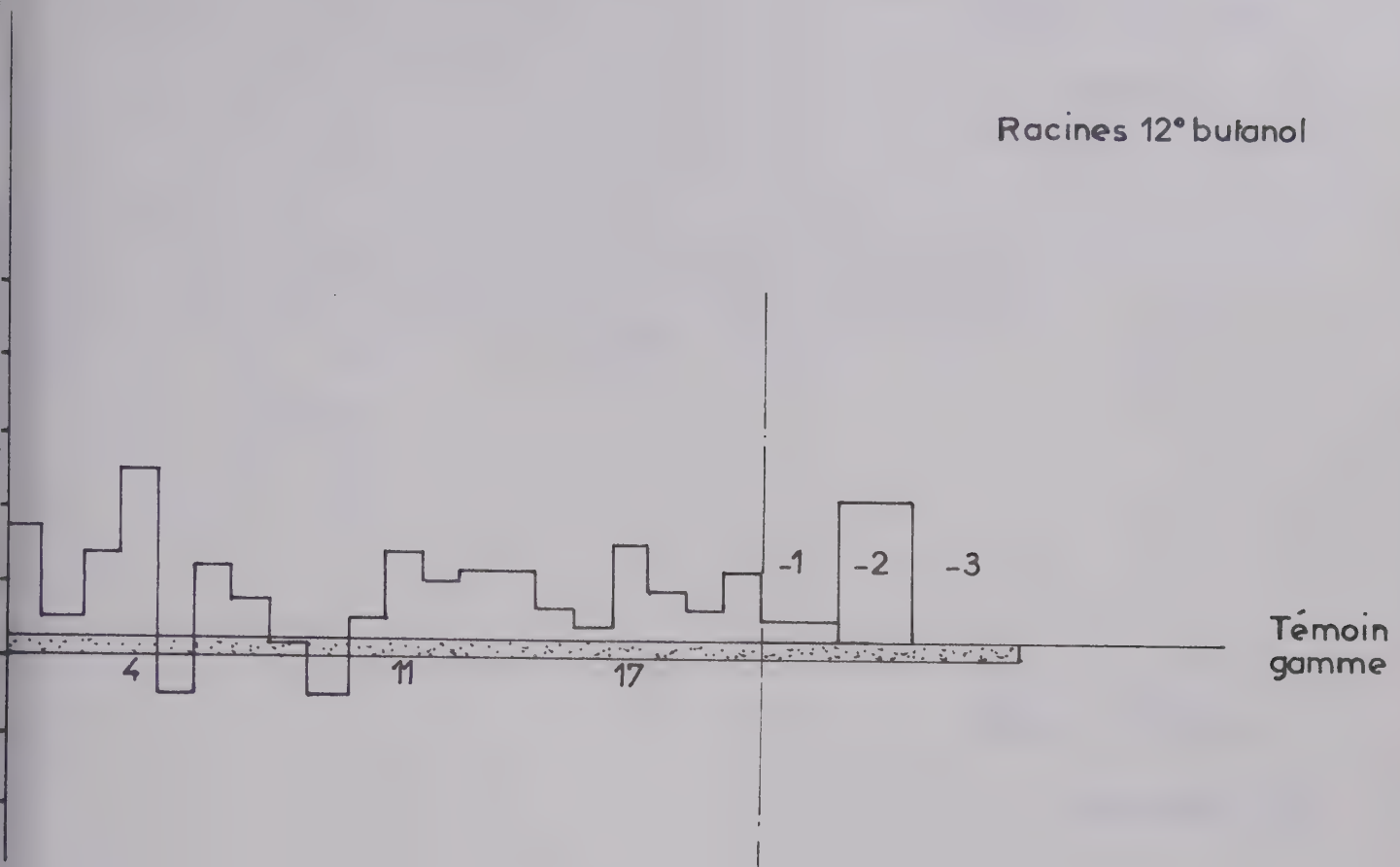



Tubercules_12°_ Acétate

Graphique N°10

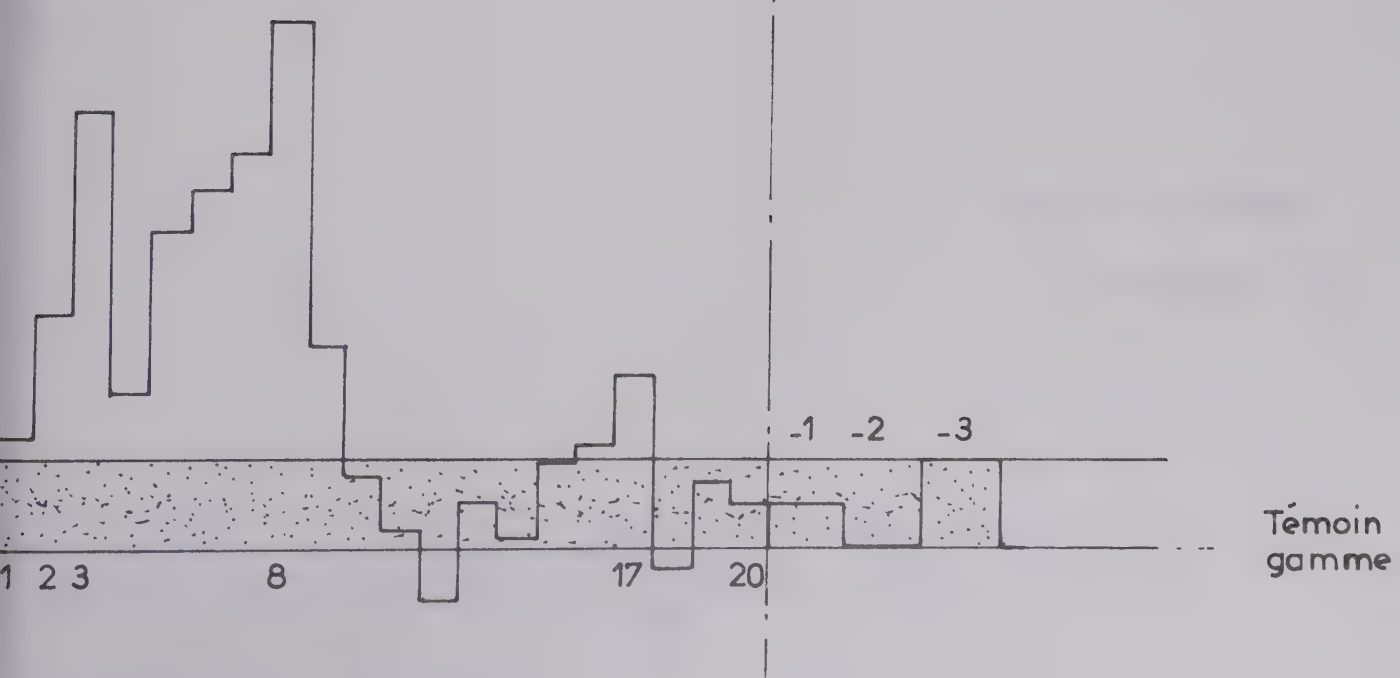
Graphique N°11

Racines 12° butanol



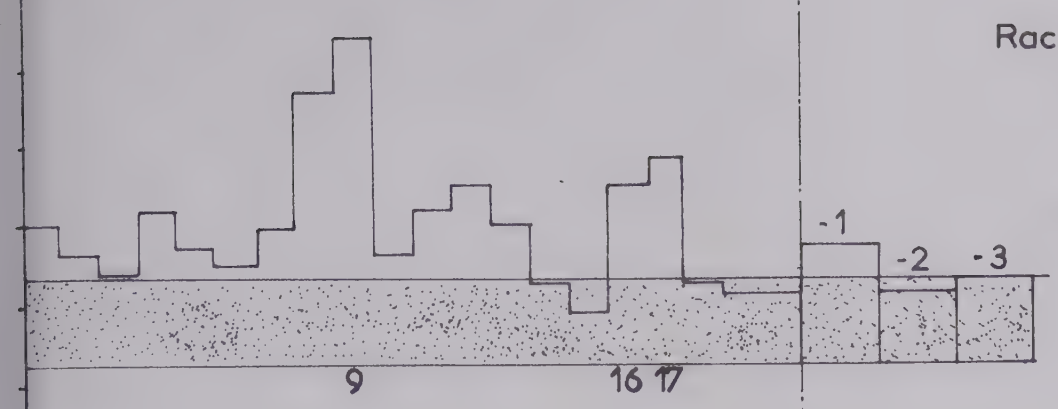

Graphique N°12

Racines 27° butanol



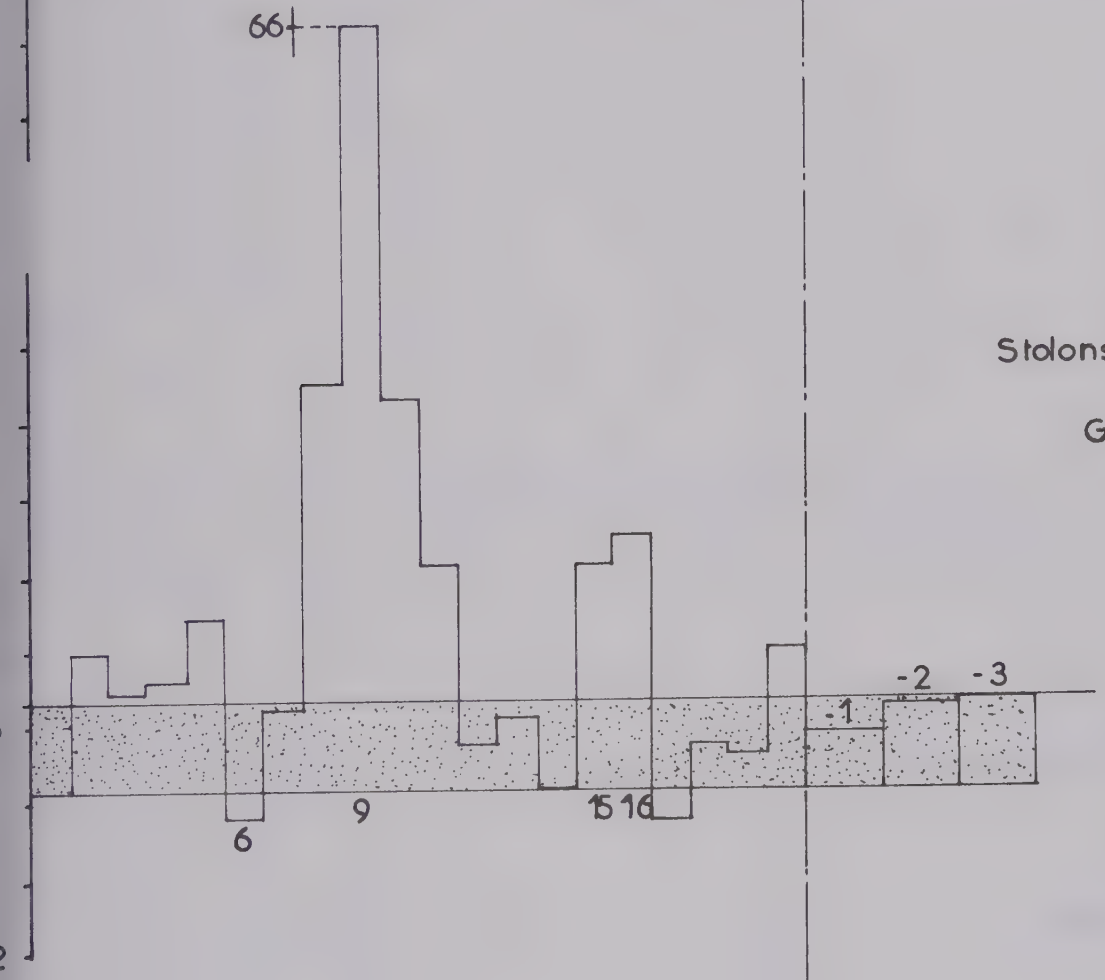
Racines 12° acétate

Graphique N° 13



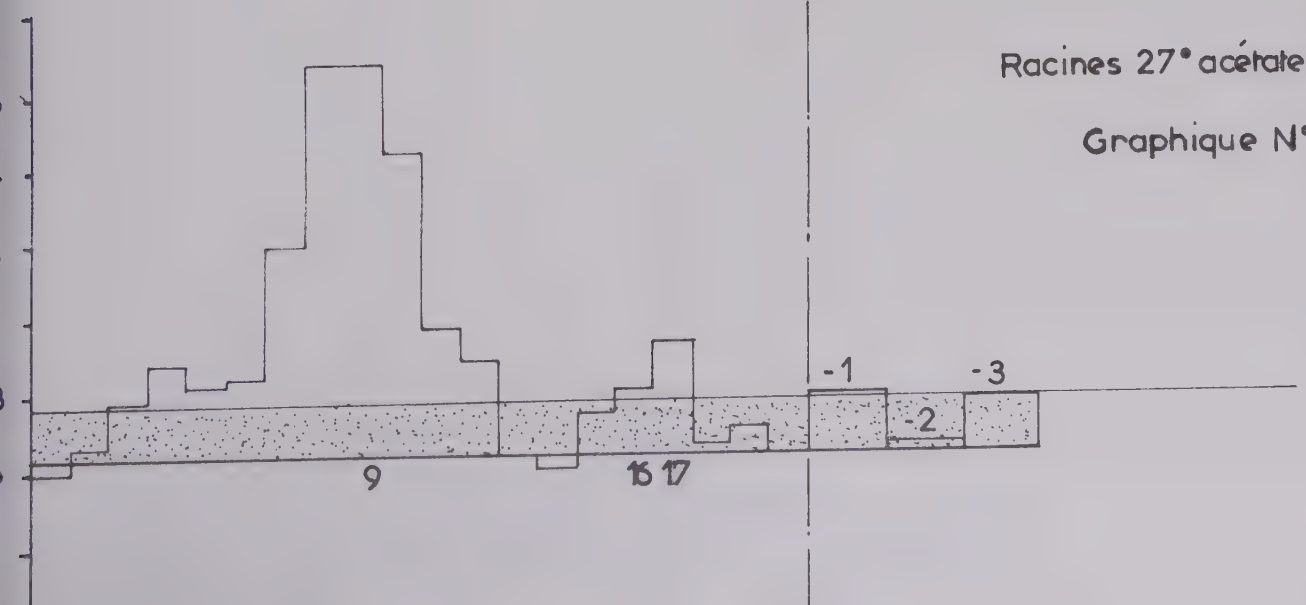

Stolons 12° acétate

Graphique N° 14



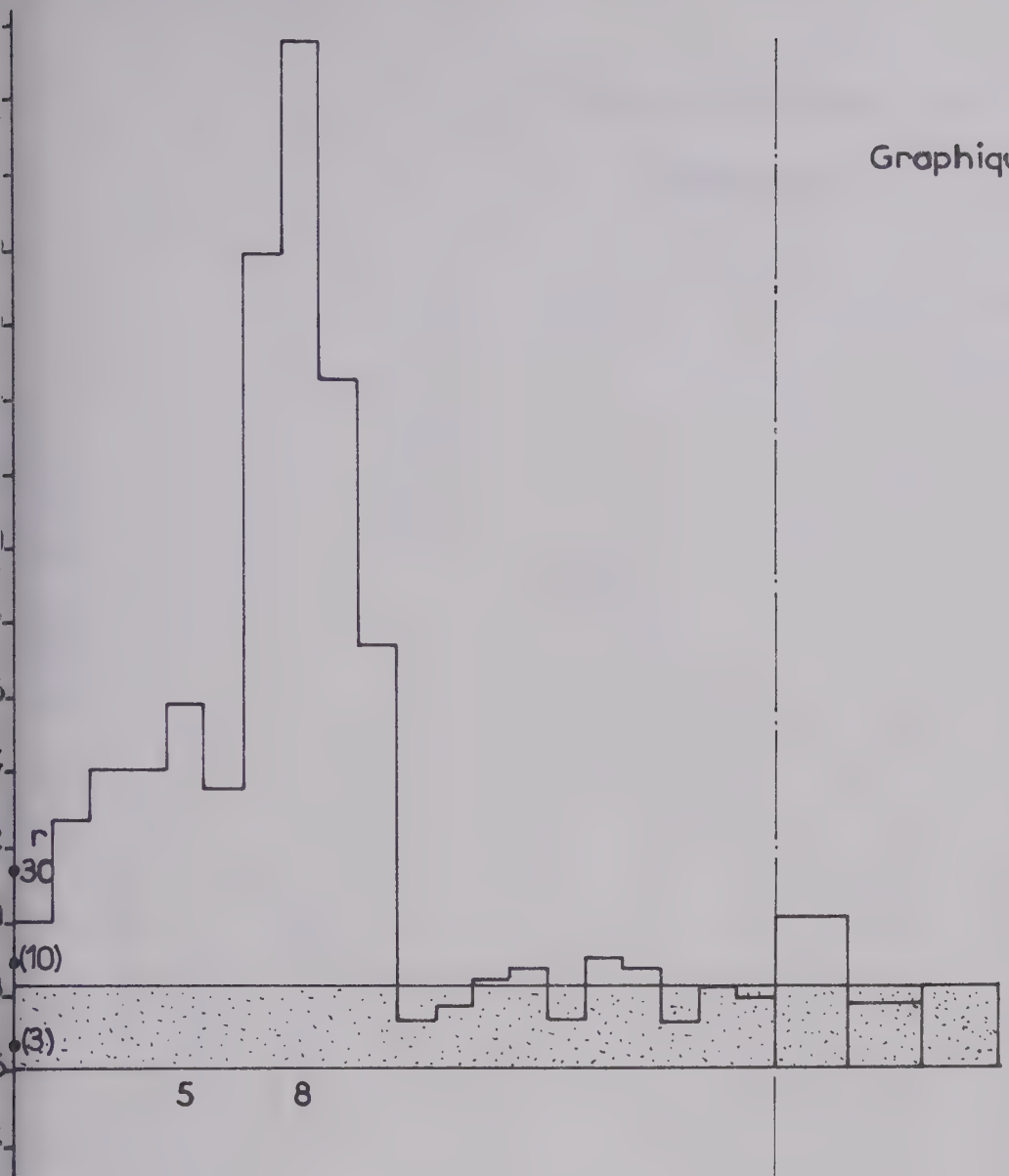

Racines 27° acétate

Graphique N° 15



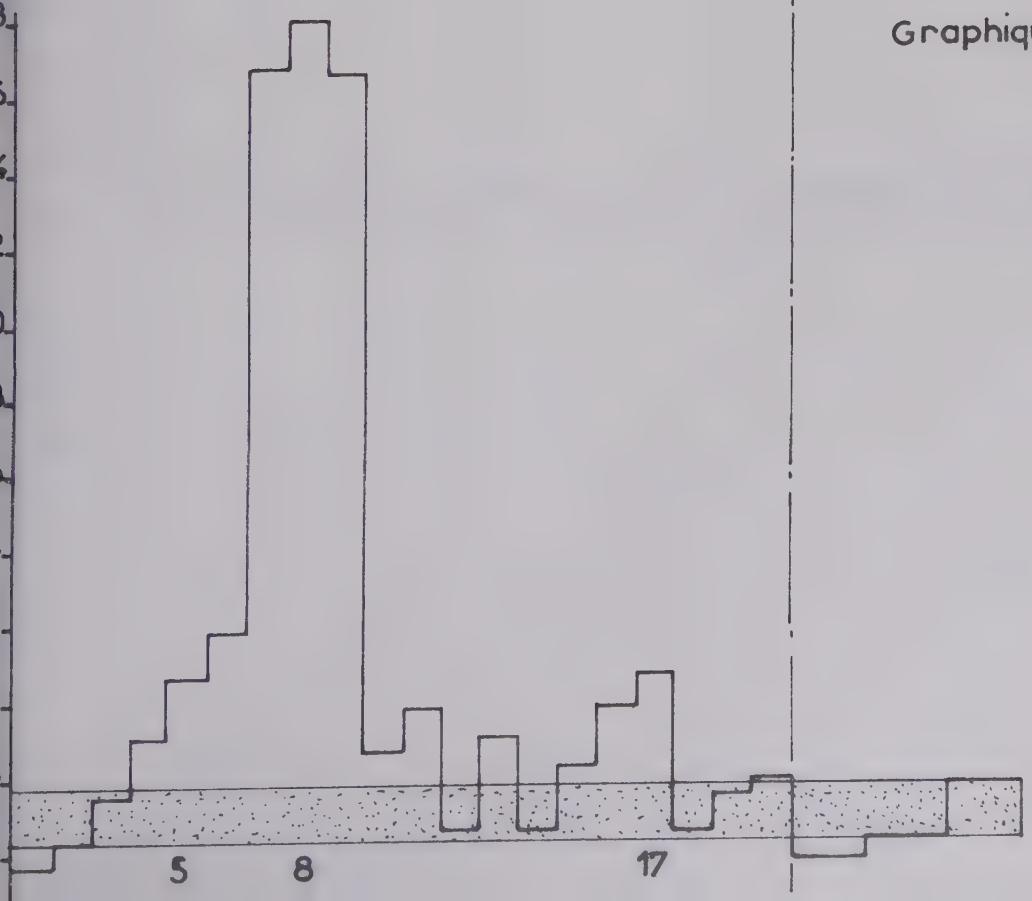
Graphique N°16

Feuilles acétate 12°



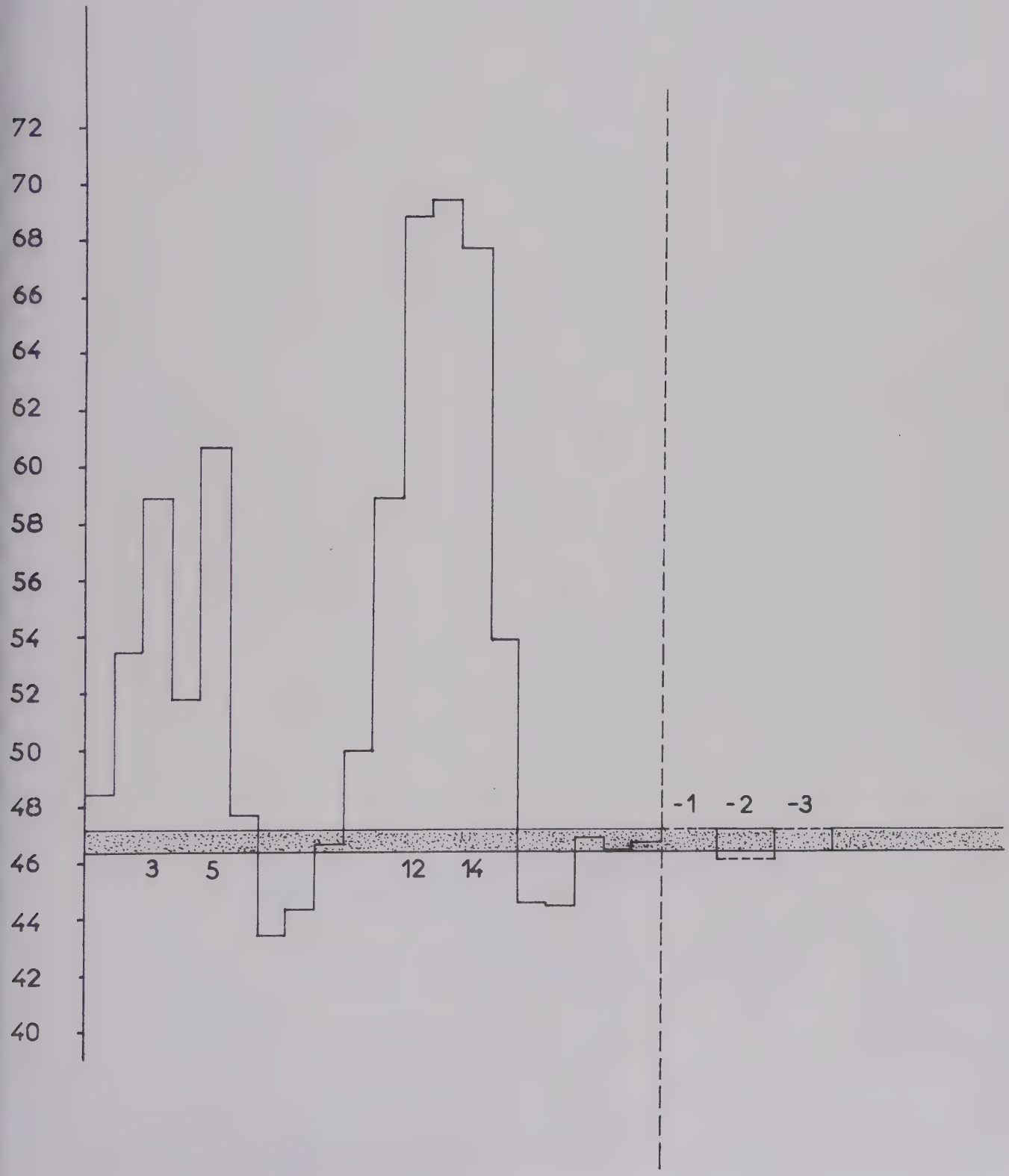

Graphique N°17

Feuilles acétate 27°



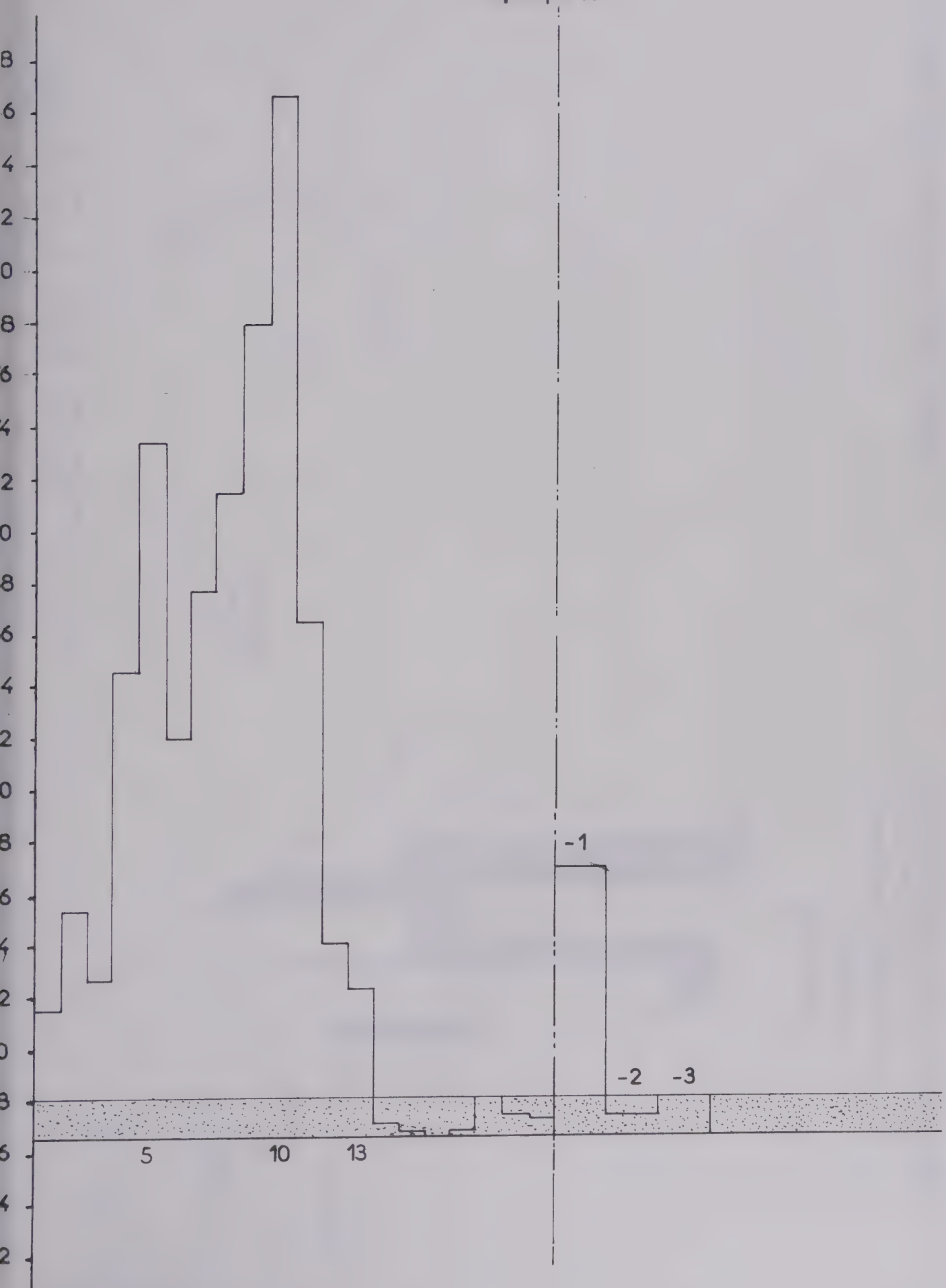
# FEUILLES BUTANOL 27°

Graphique N° 18



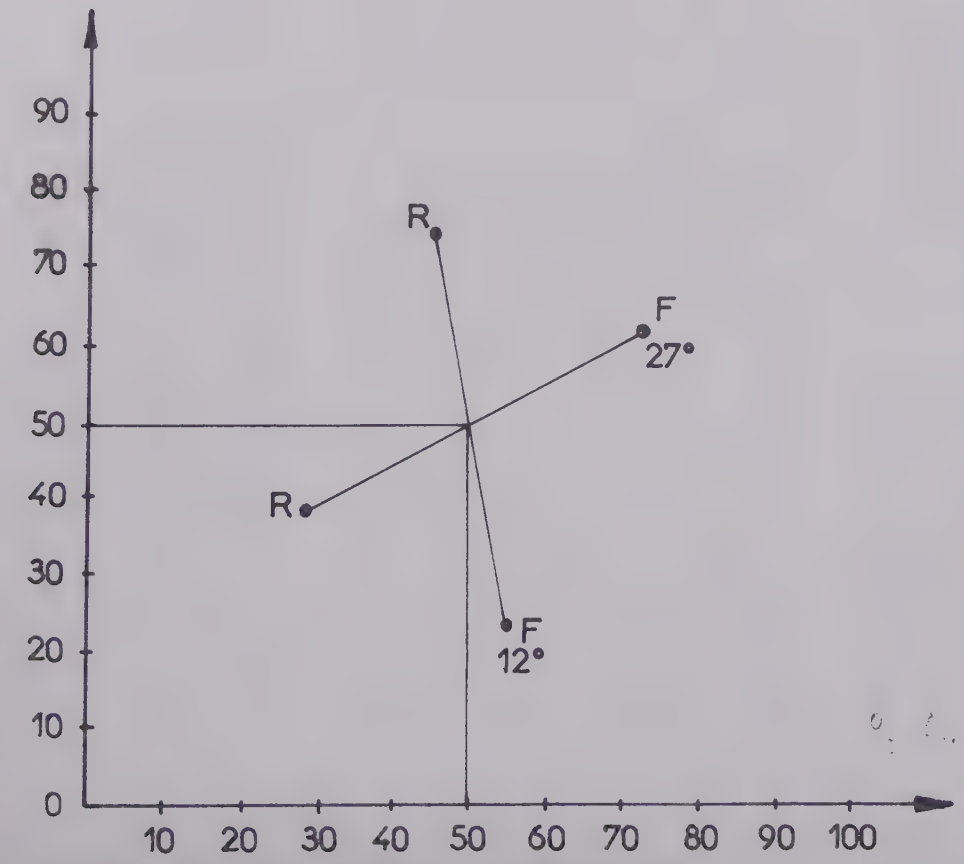
# FEUILLES BUTANOL 12°

Graphique N°19



## Graphique N° 20

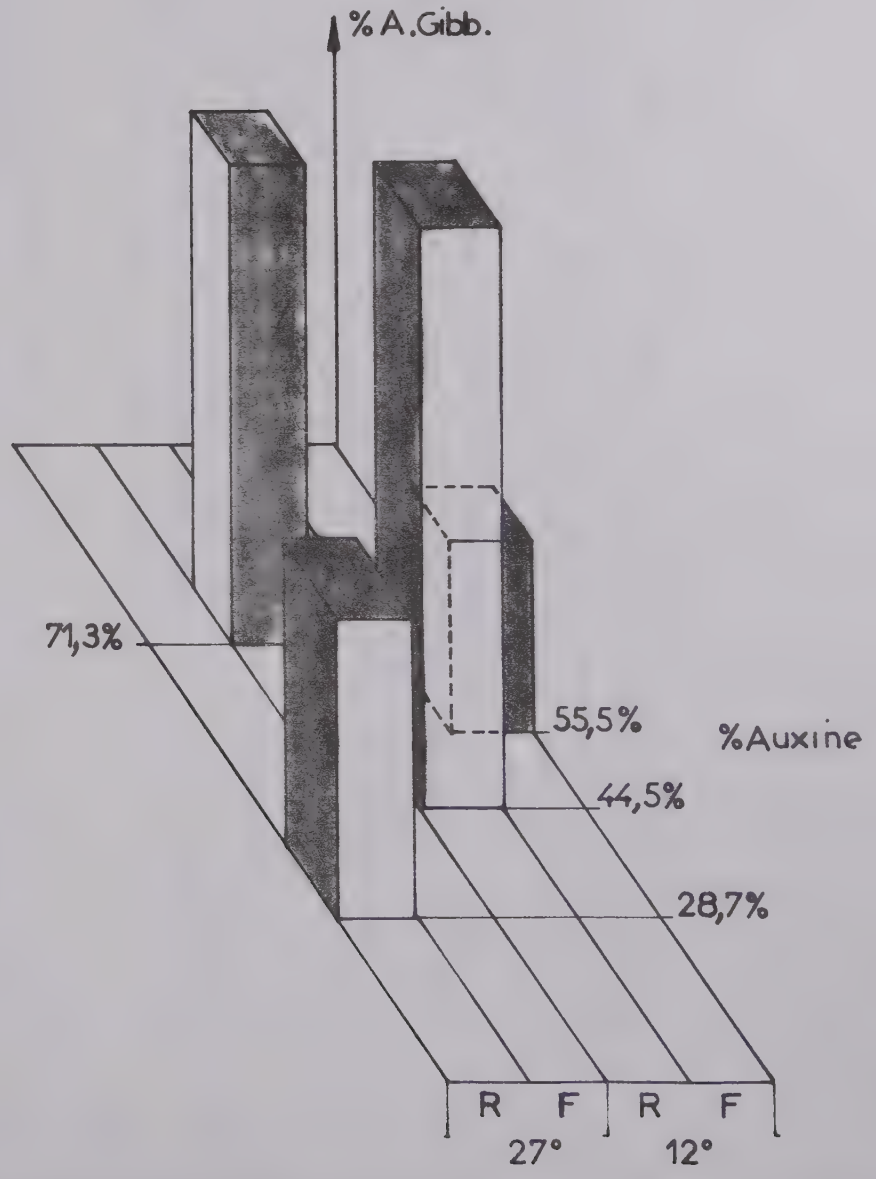
GIF 2e essai_1972_Corrélation AG. x Auxine




_ R : racines
_ F : feuilles

## Graphique N° 21

GIF 2e essai_Répartition entre les organes selon les températures de croissance des substances mises en évidence_



Nous avons réalisé le même travail à partir des recherches de substances du type gibbérellines par la méthode plantule de riz nain, méthode HARADA. Les résultats sont présentés dans le tableau n° IX et sur les graphiques mis à la fin du volume annexe.

Il apparaît tout de suite, en observant les résultats, que nous avons eu une très forte inhibition des gibbérellines par des substances antagonistes et qu'il est très difficile de se faire une idée exacte des quantités de substances réellement existantes. Toutefois, il existe des différences entre les facteurs analysés mais il est nécessaire de prendre avec beaucoup de réserves les calculs que nous allons maintenant effectuer, bien qu'ils nous semblent donner une idée intéressante des variations hormonales dans une pomme de terre, selon qu'elle a tuberisé ou non. Les indications ne sont qu'orientatives et nécessitent absolument un certain nombre de confirmations avec répétitions et analyses statistiques des dosages que nous avons réalisés pour ce travail.

La première méthode d'approche qui vient à l'ésprit à partir des pesées, est en fait l'intégration des histogrammes en établissant un pourcentage par facteur de comparaison, de manière à pouvoir visualiser les résultats obtenus. Les tableaux X et XI indiquent les résultats obtenus.

Nous avons regroupé les phases acétate et butanol pour établir les pourcentages d'activité, bien que le test coléoptile ait donné une réponse essentiellement dans la phase butanol.

Par contre, le test riz nain, donne en fonction de la tubérisation, une réponse dans la phase butanol pour le système souterrain à I2° et dans la phase acétate pour les feuilles à 27° qui n'ont pas induit de tubérisation. Les graphiques 20 et 2I nous permettent de penser que lorsqu'une plante tubérise, un déséquilibre se produit dans le rapport hormonal feuilles-racines, avec un fort pourcentage de substances de type auxines dans les racinees. Les substances de type AG semblent se trouver dans les racines et sont pratiquement absentes dans les feuilles, tout cela évidemment en valeur relative. En effet, en valeur absolue, le taux d'auxine est bien plus élevé que celui d'AG (surtout si nous nous souvenons de la faible validité du test riz pour détecter ces substances). En valeur relative, les pourcentages de substances types auxine et AG semblent dans un rapport équivalent dans les plantes à 27° qui n'ont pas tubérisé, et ce aussi bien dans les feuilles que dans les racines.

Tableau n° IX - résultats du test riz nain

| facteurs / Rf | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | -1* | -2* | -3* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| illes 12° butanol | 10,4 | 11,8 | 10,8 | 9,8 | 12,6 | 12,1 | 11,8 | 12,2 | 10,7 | 12,1 | 11,8 | 12,2 | 13,0 |
| illes 27° butanol | 12,0 | 12,1 | 11,7 | 12,4 | 11,1 | 12,7 | 10,3 | 13,9 | 14,1 | 15,0 | 11,1 | 12,8 | 13,1 |
| illes 12° acétate | 11,6 | 12,1 | 13,7 | 14,3 | 13,6 | 10,8 | 11,0 | 12,7 | 12,6 | 14,9 | 10,7 | 12,1 | 11,6 |
| illes 27° acétate | 14,1 | 13,1 | 15,3 | 15,8 | 16,6 | 12,8 | 10,8 | 9,0 | 14,6 | 12,4 | 11,1 | 13,7 | 11,7 |
| ines 12° butanol | 12,8 | 13,1 | 12,3 | 12,6 | 11,7 | 11,1 | 11,5 | 10,4 | 13,0 | 14,7 | 12,4 | 13,3 | 13,7 |
| ines 27° butanol | 12,4 | 14,2 | 13,1 | 11,2 | 10,6 | 10,7 | 10,6 | 12,2 | 12,4 | 10,0 | 11,6 | 13,7 | 11,4 |
| ines 12° acétate | 13,8 | 11,1 | 10,6 | 13,0 | 10,7 | 12,8 | 11,4 | 12,2 | 10,4 | 14,3 | 13,0 | 13,6 | 13,1 |
| ines 27° acétate | 13,1 | 13,8 | 10,6 | 10,0 | 16,7 | 10,8 | 10,5 | 10,1 | 13,2 | 13,3 | 12,6 | 10,5 | 11,7 |
| lons 12° butanol | 11,3 | 11,7 | 11,3 | 12,7 | 12,2 | 11,8 | 10,3 | 8,8 | 11,6 | 12,1 | 11,3 | 12,8 | 12,2 |
| lons 12° acétate | 12,0 | 10,2 | 10,8 | 12,5 | 12,2 | 10,7 | 11,2 | 11,7 | 15,3 | 15,8 | 10,6 | 12,5 | 12,6 |
| ercules 12° acétate | 13,6 | 12,5 | 11,5 | 10,0 | 13,6 | 12,4 | 11,3 | 11,7 | 10,7 | 13,6 | 12,4 | 12,8 | 13,0 |
| ercules 12° butanol | 13,7 | 14,3 | 13,4 | 15,9 | 13,2 | 13,3 | 12,3 | 12,4 | 13,6 | 15,8 | 13,1 | 11,4 | 10,6 |

ultat de la gamme témoin

= 12,1 cm
= 17,6 cm
= 18,7 cm
= 34,6 cm
= 41,8 cm
= 56,1 cm

* - 1 = spot
* - 2 = sous le spot
* - 3 = au dessus du réf.
10 = témoin

ique un jaunissement marqué sur la série ou le référence est coché.

Tableau n° 10 - Test coléoptile avoine - 2ème essai phytotron Gif

Pesées des pics en grammes au-dessus du témoin vrai par facteur

| Facteurs | Phase Butanol B | Phase acétate A | Σ (B + A) | Observations |
|---|---|---|---|---|
| lles 27° | 0,2963 | 0,1591 | 0,4564 | |
| lles 12° | 0,4670 | 0,2240 | 0,6910 | |
| souterrains | 0,1038 | 0,0800 | 0,1838 | racines seules |
| souterrains | 0,3790 | 0,1762 | 0,5552 | racines + stolons + tubers. |

Σ des feuilles + souterrains Butanol 27° = 0,4001 g
Σ des feuilles + souterrains Butanol 12° = 0,8460 g

Σ des feuilles + souterrains acétate 27° = 0,2391 g
Σ des feuilles + souterrains acétate 12° = 0,4002 g

Quantité Butanol + acétate 27° = 0,6392 g
Quantité Butanol + acétate 12° = 1,2462 g

Tableau des pourcentages par facteur (rapport au poids total Butanol + acétate)

| acteurs | Phase Butanol | Phase acétate | Σ (A + B) | |
|---|---|---|---|---|
| lles 27° | 46,4 | 24,9 | 71,3 | |
| lles 12° | 37,5 | 18,0 | 55,5 | = 100 |
| souterrains | 16,2 | 12,5 | 28,7 | = 100 |
| souterrains | 30,4 | 14,1 | 44,5 | |
| tes à 27° | 62,6 | 37,4 | 100,0 | |
| tes à 12° | 67,9 | 32,1 | 100,0 | |

Tableau n° 11 - Test riz nain - 2ème essai Gif

Pesées des pics en grammes au-dessus du témoin

| Facteurs | Phase Butanol B | Phase acétate A | Σ (B + A) | Observations |
|---|---|---|---|---|
| illes 27 ° | 0,0340 | 0,1562 | 0,1902 | |
| ines 27° | 0,0341 | 0,0853 | 0,1194 | |
| illes 12° | 0,0000 | 0,0833 | 0,0833 | |
| ines 12° | 0,0080 | 0,0168 | 0,0248 | |
| olons ubers. 12° | 0,1952 | 0,0690 | 0,2282 | |
| al terrain 12° | 0,1672 | 0,0858 | 0,2530 | |

Σ des feuilles + racines 27° butanol = 0,0681
Σ des feuilles + racines 12° butanol = 0,0080
Σ des feuilles + racines + souterrain 12° butanol = 0,1672

Σ des feuilles + racines 27° acétate = 0,2415
Σ des feuilles + racines 12° acétate = 0,1001
Σ des feuilles + racines + souterrains 12° acétate = 0,1691

Quantité 27° Butanol + acétate tous les organes = 0,3096
Quantité 12° Butanol + acétate tous les organes = 0,3363 (sous la bande)

tableau des % d'A.G. par facteur (Butanol + Acétate)

| Facteurs | Phase Butanol | Phase acétate | Σ B + A | |
|---|---|---|---|---|
| uilles 27° | 11,0 | 51,0 | 62,0 | = 100 |
| cines 27° | 11,0 | 27,0 | 38,0 | |
| uilles 12° | 0,0 | 24,6 | 24,6 | |
| cines 12° | 2,3 | 5,4 | 7,7 | = 100 |
| olons ubers. 12° | 47,2 | 20,5 | 67,7 | |
| tal uterrain 12° | 49,5 | 25,9 | 75,4 | |

On constate que dans les plantes qui tubérisent, stolons et tubercules, contiennent beaucoup plus de substances que les racines.
Afin de mieux préciser dans le détail les résultats obtenus, nous avons repris les histogrammes en comparant les 2 substances auxines et A G étant donné qu'un phénomène d'inhibition marqué apparaît partout avec le test riz. Pour ce faire, nous avons adopté un code empirique pour regarder ce problème de plus près.
Le Code utilisé est :

++ Forte activité positive pour le test considéré
+ Activité positive pour le test considéré
0 Absence d'action
- Activité négative pour le test considéré
-- Forte activité négative pour le test considéré

A partir de ce code, nous avons obtenu la matrice qui figure sur le tableau n° 12. Afin de mieux lire cette matrice de résultats et de la traduire par quelques chiffres relatant les phénomènes observés, nous avons regroupé les activités observées selon le code suivant :

| Code | Aux. | AG | Nature de l'interaction |
|---|---|---|---|
| Jaune | 0<br>0<br>0<br>+<br>++ | ++<br>+<br>0<br>0<br>0 | absence d'action ou d'interaction entre les substances pour un référence donné |
| Rouge | ++<br>++<br>+<br>+ | --<br>-<br>-<br>-- | interaction positive des substances types auxines sur celles de types AG |
| Violet | 0<br>0 | -<br>-- | action négative sur le test A G d'une substance inconnue non détectée par le test coléoptile |
| Blanc | -<br>-- | 0<br>0 | action négative sur le test auxine d'une substance inconnue non détectée par le test riz |
| Vert | +<br>++<br>+ | +<br>+<br>++ | absence d'interaction apparente - chaque substance est détectée |
| Noir | -<br>-<br>-- | -<br>--<br>-- | action négative sur les deux substances à la fois d'une 3è ou nè substance non détectée par nos deux tests |

tableau n° 12 - Matrice des activités par rf . 2ème essai Gif

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| uilles 12° acétate | auxines | + | + | + | ++ | ++ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A G | 0 | 0 | + | + | + | - | - | 0 | 0 | + |
| uilles 27° acétate | auxines | 0 | 0 | 0 | ++ | 0 | 0 | 0 | + | 0 | 0 |
| | A G (f. Jeu) | 0 | 0 | + | + | ++ | 0 | - | -- | + | 0 |
| uilles 12° butanol | auxines | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | + | 0 | 0 | 0 |
| | A G | - | - | - | -- | - | - | - | - | - | - |
| uilles 27° butanol | auxines | 0 | + | ++ | 0 | 0 | ++ | ++ | + | 0 | 0 |
| | A G | - | - | - | - | - | - | -- | 0 | 0 | + |
| cines 12° acétate | auxines | 0 | 0 | 0 | 0 | + | 0 | 0 | 0 | + | 0 |
| | A G | 0 | -- | - | 0 | -- | - | - | - | -- | + |
| cines 27° acétate | auxines | 0 | 0 | 0 | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A G | 0 | 0 | - | -- | ++ | - | - | - | 0 | 0 |
| cines 12° butanol | auxines | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | A G | - | 0 | - | - | - | - | - | -- | 0 | + |
| cines 27° butanol | auxines | 0 | + | + | + | 0 | -0 | 0 | 0 | 0 | -0 |
| | A G | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | 0 | 0 | -- |
| ollons 12° acétate | auxines | 0 | 0 | 0 | + | ++ | + | 0 | + | 0 | 0 |
| | A G | 0 | - | - | 0 | 0 | - | - | - | + | ++ |
| ollons 12° butanol | auxines | 0 | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| | A G | - | 0 | - | 0 | 0 | 0 | -- | -- | - | 0 |
| ercules 12° acétate | auxines | 0 | 0 | - | 0 | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | A G | 0 | 0 | - | -- | 0 | 0 | - | - | - | 0 |
| ercules 12° butanol | auxines | 0 | ++ | ++ | + | + | + | + | 0 | 0 | 0(-) |
| | A G | + | + | 0+ | ++ | 0+ | 0+ | 0 | 0 | + | ++ |

Tableau n° 13 - Résultats matrice interaction 2e essai Gif

Fréquences par couleur

| | Jaune | | | | rouge * | violet | blanc | violet + blanc * | vert * | noir * |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Pur | Rouge | Bleu | Total * | | | | | | |
| euilles 12° acétate | 2 | 2 | 1 | 5 | 0 | 2 | 0 | 2 | 3 | 0 |
| 12° butanol | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| euilles 27° acétate | 4 | 0 | 3 | 7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 27° butanol | 1 | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| acines 12° acétate | 2 | 0 | 1 | 3 | 2 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 12° butanol | 2 | 0 | 1 | 3 | 0 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| acines 27° acétate | 4 | 0 | 0 | 4 | 1 | 4 | 0 | 4 | 1 | 0 |
| 27° butanol | 3 | 2 | 0 | 5 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| rganes 12° acétate | 4 | 2 | 2 | 8 | 2 | 5 | 2 | 7 | 0 | 3 |
| outerrains 12° butanol | 5 | 5 | 3 | 13 | 1 | 3 | 0 | 3 | 2 | 1 |
| | | | 51 | 19 | | | | 37 | 7 | 6 |

* la somme des colonnes marquées par un astérisque doit faire 10 si on somme la ligne de la matrice des fréquences.
pour les organes souterrains 12° le total est sur 20 car nous avons sommé tubercules plus stolons.

La matrice contient 10 colonnes et 12 lignes soit 120 cases, nous avons :

51 + 19 + 37 + 7 + 6 = 120

La tendance des substances est exprimée par le % de fréquence dans une couleur.

(ex. : $\frac{51 \times 100}{120}$ = )

Jaune { 27 = 22,5 %
12 = 10,0 %
12 = 10,0 %
51 = 42,5 % Pas d'interaction

Rouge 19 = 15,8 % 19 = 15,8 % Inhibition A G par auxine

olet { Violet 35 = 29,2 % (sur AG)
Blanc { Blanc 2 = 1,67 % (sur auxine)
37 = 30,87 % Action d'une 3e substance de manière plus ou moins intense

Vert 7 = 5,83 % Auxines et A G ne se contrent pas

Noir 6 = 5 % Inhibition A G et auxine

Si nous simplifions, c'est à dire en regroupant les effets dans la couleur jaune nous obtenons le tableau 13 bis ci-dessous.
Il est intéressant de considérer ce tableau comme une table de contingence et de l'interpréter par la théorie de l'information à l'aide du test $2\hat{I}$ puisque nous n'avons pas d'idée sur la distribution réelle de nos variables. En effet ce test est indépendant de la forme de distribution des variables et permet ainsi de tester la validité de nos hypothèses de groupement préalable des facteurs tels qu'ils se trouvent défini dans le tableau 13 bis.

tableau 13 bis

| | Jaune | Rouge | Violet | Blanc | Vert | Noir | Σ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| euilles 12° acétate | 5 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 10 |
| euilles 12° butanol | 0 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | 5 | 7 | 5 | 0 | 3 | 0 | 20 |
| euilles 27° acétate | 7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 10 |
| euilles 27° butanol | 3 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | 10 | 5 | 4 | 0 | 1 | 0 | 10 |
| acines 12° acétate | 3 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| acines 12° butanol | 3 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | 6 | 2 | 12 | 0 | 0 | 0 | 20 |
| acines 27° acétate | 4 | 1 | 4 | 0 | 1 | 0 | 10 |
| acines 27° butanol | 5 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 | 10 |
| | 9 | 2 | 6 | 0 | 1 | 2 | 20 |
| rganes souterrains 12° acétate | 8 | 2 | 5 | 2 | 0 | 3 | 20 |
| rganes souterrains 12° butanol | 13 | 1 | 3 | 0 | 2 | 1 | 20 |
| | 21 | 3 | 8 | 2 | 2 | 4 | 40 |
| | 51 | 19 | 35 | 2 | 7 | 6 | 120 |

En effet si les facteurs testés sont homogènes on a une valeur 2 $\bar{I}$ assymptotique à la valeur de la loi distribution du $\chi^2$. On estime donc le calcul de l'information attachée à l'homogénéité des échantillons testés, où chaque ligne de la "matrice" constitue un échantillon d'une loi multinomiale à n classes. De plus cette méthode permet comme dans le cas de l'analyse de la variance une analyse progressive très intéressante en matière de recherche de liaison entre les groupes définis préalablement. Cette méthode très simple de calcul nous conduit à écrire un nouveau tableau en remplaçant les fréquences trouvées par leur valeur exprimée en N Log N.

tableau 13 ter - valeur des N Log. N du tableau 13 bis

| | Jaune | Rouge | Violet | Blanc | Vert | Noir | Σ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| feuilles 12° acétate | 8,047 | 0,0 | 1,386 | 0,0 | 3,295 | 0,0 | 23,025 |
| feuilles 12° butanol | 0,000 | 13,621 | 3,295 | 0,0 | 0,000 | 0,0 | 23,025 |
| Σ | 8,047 | 13,621 | 8,047 | 0,0 | 3,295 | 0,0 | 59,914 |
| feuilles 27° acétate | 13,621 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 23,025 |
| feuilles 27° butanol | 2,295 | 5,545 | 3,295 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 23,025 |
| Σ | 23,025 | 8,047 | 5,545 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 59,914 |
| racines 12° acétate | 3,295 | 1,386 | 8,047 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 23,025 |
| racines 12° butanol | 3,295 | 0,000 | 13,611 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 23,025 |
| Σ | 10,750 | 1,386 | 29,818 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 59,914 |
| racines 27° acétate | 5,545 | 0,0 | 5,545 | 0,0 | 0,0 | 0,000 | 23,025 |
| racines 27° butanol | 8,047 | 0,0 | 1,386 | 0,0 | 0,0 | 1,386 | 23,025 |
| Σ | 19,775 | 1,386 | 10,750 | 0,0 | 0,0 | 1,386 | 59,914 |
| Organes souterrains 12° acétate | 16,635 | 1,386 | 8,047 | 1,386 | 0,000 | 3,295 | 59,914 |
| Organes souterrains 12° butanol | 33,244 | 0,000 | 3,295 | 0,000 | 1,386 | 0,000 | 59,914 |
| Σ | 63,934 | 3,295 | 16,635 | 1,386 | 1,386 | 5,545 | 147,555 |
| ΣΣ | 200,523 | 55,944 | 124,437 | 1,386 | 13,621 | 10,750 | 574,440 |

Le premier stade de calculs terminé, nous testons l'homogénéité globale du tableau ce qui nous donne la valeur :

$$2\hat{I} = 80,956 \text{ pour } 45 \text{ DL}$$

Or, la valeur du $\chi^2$ à 45 DL est de 31,41 pour une probabilité de 0,05. Notre tableau n'est donc pas homogène et il convient de rechercher à l'intérieur les valeurs significatives. Pour ce faire, nous allons procéder à une analyse par groupe de manière à étudier les contrastes 12/27° mais tout d'abord il convient de tester l'effet interne groupe, c'est-à-dire le contraste acétate/butanol. Les valeurs obtenues sont :

| | | |
|---|---|---|
| Feuilles 12° | $2\hat{I} = 20,996$ | pour 5 DL |
| Feuilles 27° | 6,006 | " " |
| Racines 12° | 3,108 | " " |
| Racines 27° | 4,952 | " " |
| Org. Sout. 12° | 8,440 | " " |

Pour une Pr (0,05) $\chi^2$ à 5 DL = 11,070

Il apparaît, seulement pour les feuilles 12°, une différence significative entre les phases acétate et butanol. Comme par ailleurs l'analyse progressive du tableau ne nous a pas montré de différence significative entre les sous-ensembles Feuilles 27° et Racines 12° Racines 27° et Organes Souterrains 12°, il est possible de les regrouper pour les tester contre la phase acétate, puis contre la phase butanol des feuilles 12° ce qui nous donne les valeurs suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Feuilles 12° acétate/reste | $2\hat{I} = 9,776$ | pour 5 DL |
| Feuilles 12° butanol/reste | $2\hat{I} = 21,902$ | " 5 DL |

Il ressort très nettement que c'est la phase butanol des feuilles qui est fondamentalement différente des autres, toutefois la phase acétate est proche du niveau de signification (0,10) et serait sans doute significative si nous avions regroupé la colonne blanche avec la colonne violette, puisque cette colonne ne représente que 1,6 % de l'effectif. Nous aurions donc probablement affiné notre analyse par le jeu des degrés de liberté en regroupant des colonnes.

Cette approche du problème nous amène à une considération intéressante qui n'apparaissait pas à la lecture des histogrammes de résultats, mais qui est très claire à la lecture du tableau n° 13 et qui nous conduit à énoncer les facteurs suivants qui mériteraient un contrôle expérimental plus développé par la suite:

a - Tout d'abord, il existe une substance, ou un complexe de substances, autres que les "auxines" qui inhibent l'effet des composés du type A G (zone violette) et cela apparaît avec une fréquence de 29,2 % surtout dans les racines aussi bien à 12° qu'à 27° mais de manière plus fréquente à 12°.

b - Il existe rarement une ou des substances masquant l'effet auxine (zone blanche) fréquence des cas : 1,67 %.

c - Très souvent les auxines semblent masquer ou réagir négativement avec le test riz (zone rouge) fréquence des cas : 15,8 %

d - En général, chaque substance semble jouer normalement son rôle bien que des réserves soient nécessaires au sujet du test A G riz nain. (zone jaune et verte) fréquence des cas : 42,5 + 5,8 = 48,3 %. Il est toutefois une question que l'on peut se poser : c'est le cas où A G et auxines apparaissent simultanément du fait de l'interaction au niveau du test des deux substances; l'A G n'est-elle pas présente dans ces cas là en quantité très supérieure à ce qui nous apparait dans les résultats?

e - La double inhibition des deux substances n'est pas un phénomène fréquent (zone noire) 5 % des cas.

Il semble difficile de tirer plus de nos résultats que les tendances que nous venons de dégager et qui sont donc, pour se résumer essentiellement :

1 - une ou plusieurs substances inhibitrices de la croissance du riz, existent très certainement dans les pommes de terre.

2 - le rapport des "auxines" en valeur relative est très déséquilibré entre les feuilles et les racines pour les plantes à 27° n'ayant pas tubérisé :

$$\frac{F}{R} = \frac{71,3}{28,7} = 2,48$$

3 - le rapport des "A G" en valeur relative est très déséquilibré entre les feuilles et les racines pour les plantes à 12° ayant fortement tubérisé :

$$\frac{F}{R} = \frac{24,6}{75,4} = 0,326$$

au contraire ce rapport est presque équilibré pour les "auxines"

$$\frac{F}{R} = \frac{55,5}{44,5} = 1,243$$

Tableau n° 14

Test mésocotyle - tubercules Saint Germain 1969

| Facteurs rf | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | - 1 | - 2 | - 3 | Code |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Buttée acétate | 56,0 | 60,0 | 59,6 | 52,5 | 48,6 | 56,0 | 83,6 | 85,6 | 75,0 | 61,0 | 46,1 | 42,3 | 41,8 | 42,5 | 56,6 | 51,6 | 54,6 | 50,2 | 48,0 | 52,0 | 52,3 | 50,6 | 48,0 | BA |
| non buttée acétate | 54,2 | 57,1 | 54,8 | 58,8 | 54,0 | 51,6 | 57,0 | 67,0 | 71,4 | 70,4 | 63,1 | 49,2 | 49,1 | 48,3 | 52,4 | 49,4 | 47,4 | 47,2 | 48,6 | 50,4 | 54,5 | 51,8 | 54,5 | BB |
| buttée butanol | 45,6 | 57,8 | 63,0 | 67,8 | 71,8 | 66,4 | 63,8 | 40,6 | 56,6 | 52,6 | 47,2 | 45,0 | 44,2 | 49,4 | 53,8 | 47,6 | 47,0 | 46,6 | 49,6 | 49,5 | 40,0 | 49,5 | 49,1 | NBA |
| non buttée butanol | 46,4 | 55,7 | 65,2 | 61,8 | 67,0 | 63,8 | 54,8 | 62,4 | 65,2 | 50,2 | 45,6 | 43,8 | 45,0 | 49,4 | 49,0 | 50,8 | 49,0 | 48,6 | 49,8 | 48,2 | 41,3 | 50,0 | 49,0 | NBB |

Test riz nain - tubercules Saint Germain 1969

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Buttée acétate | 39,0 | 39,0 | 40,0 | 37,7 | 36,6 | 31,7 | 35,0 | 37,9 | 42,9 | 43,3 | 34,3 | 37,4 | 36,7 | 40,4 | 41,7 | 38,7 | 39,3 | 41,0 | 40,2 | 40,6 | 34,0 | 40,6 | 38,3 | BA |
| Buttée butanol | 34,6 | 40,3 | 40,2 | 43,6 | 44,8 | 41,7 | 39,6 | 39,7 | 48,0 | 38,1 | 35,0 | 38,0 | 35,0 | 36,3 | 40,9 | 41,5 | 43,0 | 45,0 | 45,0 | 45,4 | 35,7 | 42,0 | 40,6 | BB |
| non buttée acétate | 43,7 | 46,3 | 43,6 | 39,7 | 38,9 | 35,7 | 35,5 | 37,1 | 37,3 | 46,6 | 37,7 | 35,6 | 33,9 | 38,8 | 40,5 | 46,1 | 39,3 | 43,4 | 40,8 | 42,8 | 34,6 | 44,4 | 41,3 | NBA |
| non buttée butanol | 41,3 | 39,6 | 42,3 | 37,0 | 39,1 | 38,5 | 42,2 | 37,3 | 40,0 | 41,0 | 37,4 | 37,1 | 34,6 | 35,7 | 40,3 | 33,0 | 44,0 | 40,1 | 38,0 | 38,1 | 36,6 | 42,0 | 35,2 | NBB |

Gamme IAA = Y /1

0 = 51,1
3 = 60,3
10 = 75,4
30 = 94,9
100 = 105,3

Gamme A G = mg/l

0 = 38,5
10 = 94,7
30 = 139,2
100 = 139,8
300 = 185,6

4 - La quantité "d'auxine" retrouvée est maximum dans les feuilles provenant des salles à I2 ? C'est dans la phase butanol que l'on extrait le maximum de substances et ceci de manière significative (Pr. à 0,05).

Ces considérations peuvent être rapprochées d'une première série de dosages que nous avions effectués entre,deux lots de pommes de terre récoltées au champ dans l'essai Saint-Germain I969, où nous avions recherché "auxines" et "AG" entre plantes buttées à la plantation et en végétation. Les résultats sont représentés dans le graphique n° 34 et le tableau n° 14. Il apparaît clairement un niveau auxine beaucoup plus important chez les plantes ayant subi un buttage et qui avaient tubérisé davantage que celles buttées à la plantation.

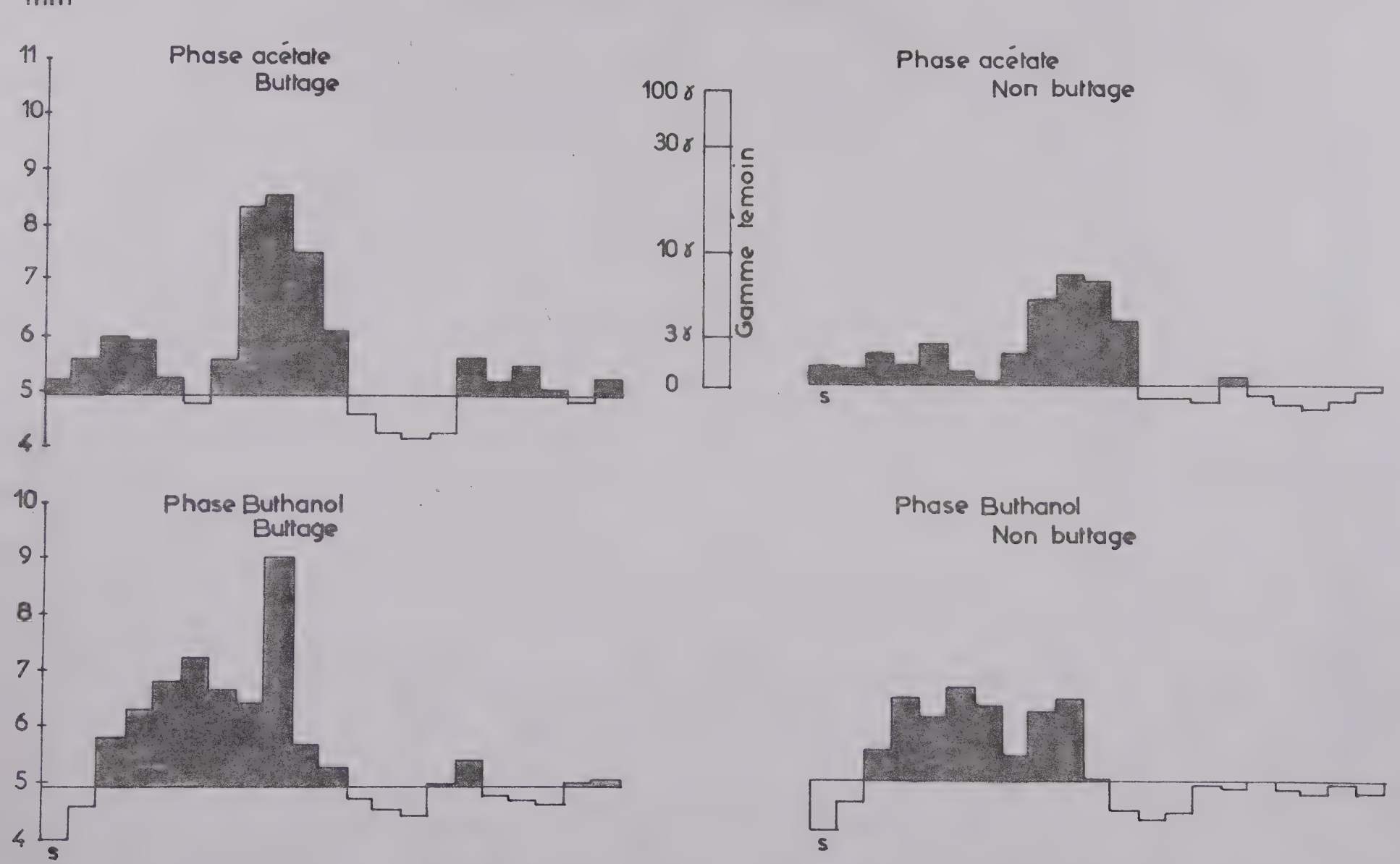
D'autre part, comme dans les essais phytotron, le test riz nain ne permet pas une détection correcte des substances recherchées et par contre de très nombreuses plantules sont déformées, avec des symptômes de types auxiniques. Cet essai nous permet d'établir une corrélation en fonction du temps de trempage des mésocotyles, et le graphique n° 15 montre une relation linéaire très nette entre les deux temps de trempage, ce qui confirme la valeur du test effectué sur les lots phytotron. Enfin, nous avions révélé chimiquement nos chromatogrammes dans chaque phase ; il est alors apparu des zones mauves correspondant à des composés endoliques.

L'emplacement des zones coloriées coïncide parfaitement avec les pics obtenus dans les histogrammes d'où une bonne présomption pour une présence importante d'I.A.A..

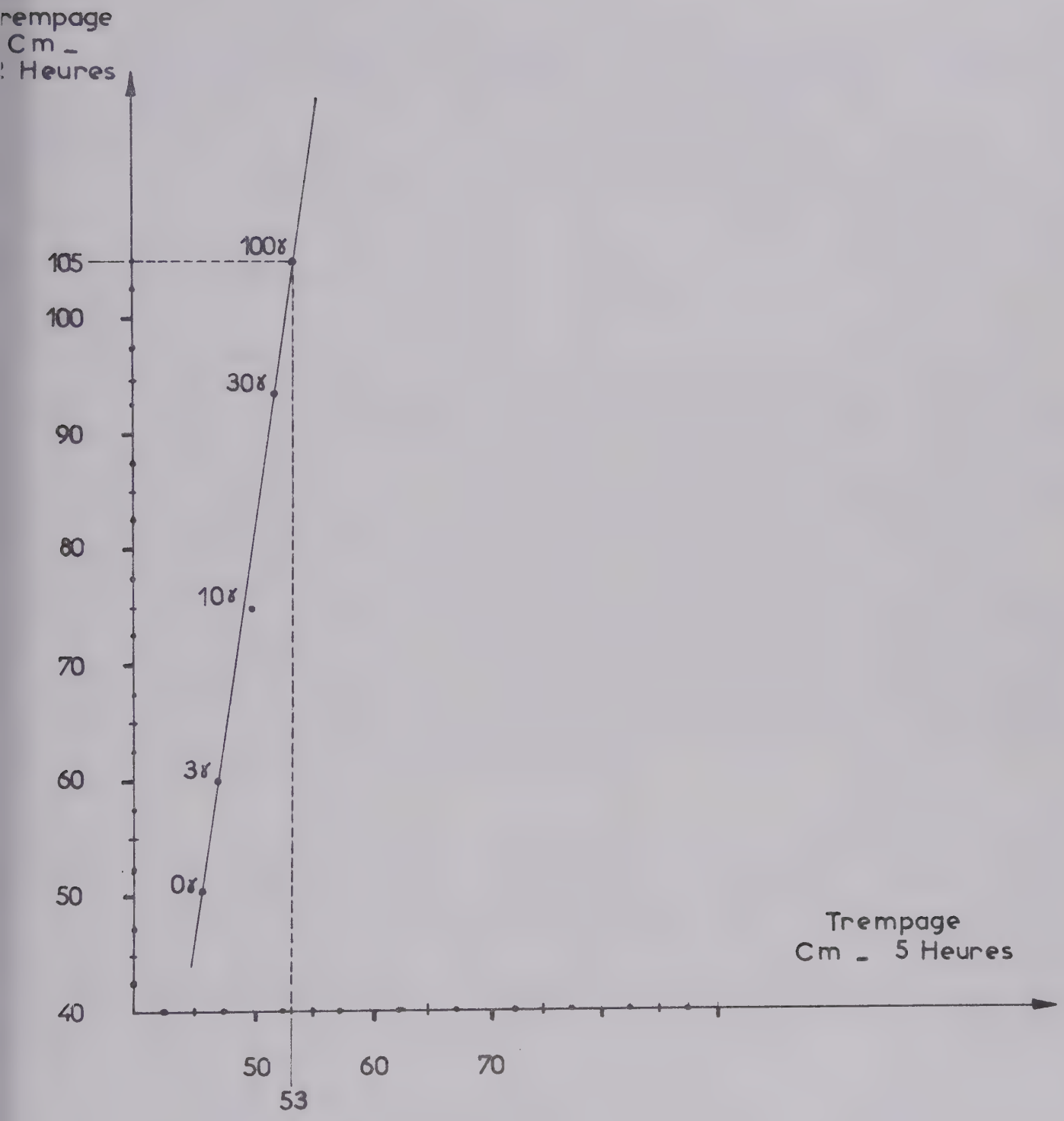
Ce travail biochimique, bien que très incomplet, apporte cependant quelques idées sur des voies ultérieures de recherche en matière de relation entre substances de croissance et tubérisation, et notamment la recherche de cette troisième substance sous-jacente qui est peut-être du type cytokinines si on se réfère aux travaux de PALMER.

Saint Germain 1969

TEST MESOCOTYLE D AVOINE




Graphiques N°22




Graphique N°23

Corrélation entre les deux temps de trempage des mésocotyles

3ème essai Phytotron

Les résultats particulièrement intéressants obtenus dans le deuxième essai nous ont amenés à préciser les facteurs de manière plus précise en faisant intervenir la notion de photopériode.

Notre 3ème essai a donc été réalisé selon le plan suivant :

3 températures 12° cst avec ou sans passage à 2° cst 14 jours
17° cst " " " " " " " " "
22° cst " " " " " " " " "
2 longueurs de jour 9 heures
16 heures

Chaque traitement comprenait 18 pots de 10 cm de diamètre. Le support étant toujours la vermiculite avec apport de solution nutritive décrite précédemment. La variété utilisée a été Bintje classe E, récoltée en août 1971 et conservée à 5°. L'essai a été mis en place le 13 avril 1972 et récolté le 6 juillet 1972.
Le passage au froid a été effectué comme dans les autres essais lorsque les fanes avaient 15 à 20 cm de hauteur. Différents contrôles ont été réalisés durant la croissance des plantes et figurent au tableau n° 15 et sur les graphiques n° 24 et 25
De plus, un lot de chaque condition a subi un traitement particulier consistant en la suppression du tubercule mère lorsque les fanes avaient de 5 à 8 cm de hauteur. Ce traitement n'a pas posé de problème quant à la reprise des plantes après ablation du tubercule mère, mais nous n'avons pu obtenir que les plantes aient par la suite un comportement de bouture, ce qui était notre idée en réalisant cette opération.

En effet, dans le 2ème essai phytotron, du fait de l'utilisation de tubercules jeunes, nous avons eu des plantes dont le comportement a été proche de plantes issues de bouture, malheureusement, nous n'avons pu reproduire ce phénomène par l'ablation du tubercule mère qui avait déjà transmis son information tubérisation à la jeune plantule. C'est pourquoi, nous citerons les résultats obtenus, mais nous ne les discuterons pas, dans le cas de l'absence du tubercule mère, l'hypothèse posée n'ayant pu être satisfaite.

L'évolution de la croissance est fortement liée à la longueur du jour ce qui est bien connu, et d'autre part, la température au sein d'une même photopériode est le deuxième facteur important intervenant sur la croissance. Toutefois, les plantes placées en jour court 17° ont une croissance relativement similaire aux plantes placées à 12° en jour long ; dans tous les autres cas, nous n'observons pas d'interaction entre photopériode et température.

Tableau n° 15 - Croissance Gif 3e essai

| | | | 2,5 | 9,5 | 23,5 | 2,6 | 7,6 | 6,7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Avec tubercule mère | | | | | | | | |
| JL | 12° | cst | 0,4 | 2 | 12,1* | 19,8 | - | 60,1 |
| JL | 12° | cst | pas levée | 1,1 | 10,8* | 17,3 | - | 32,1 |
| JL | 12° | P. 2° | 0,3 | 2,3 | 13,2* | 17,2 | - | 45,2 |
| JC | 12° | P. 2° | pas levée | 0,8 | 10,9* | 15,1 | - | 23,3 |
| Avec tubercule mère | | | | | | | | |
| JL | 17° | cst | 4,2 | 8,8 | 19,9* | - | 36,4 | 99,8 |
| JC | 17° | cst | 5,1 | 9,3 | 16,3* | - | 19,1 | 56,2 |
| JL | 17° | cst P. 2 | 6,3 | 10,4 | 20,7* | - | 20,9 | 78,2 |
| JC | 17° | P. 2° | 3,7 | 5,7 | 16,5* | - | 16,8 | 61,1 |
| Sans tubercule mère | | | | | | | | |
| JL | 17° | cst | 4,4 | 8,1 | 16,0* | - | 30,2 | 99,1 |
| JC | 17° | cst | 5,8 | 10,1 | 15,6* | - | 17,5 | 41,8 |
| JL | 17° | P. 2° | 5,5 | 9,8 | 16,4* | - | 16,8 | 61,4 |
| JC | 17° | P. 2° | 4,7 | 8,0 | 13,5* | - | 13,8 | 43,4 |
| Avec tubercule mère | | | | | | | | |
| JL | 22° | cst | 12,6 | 23,6 | 45,5 | - | - | 143,6 |
| JC | 22° | cst | 8,2 | 21,4 | 34,7 | - | - | 56,2 |
| JL | 22° | P. 2° | 14,1 | 19,1 | 22,1* | - | - | 122,8 |
| JC | 22° | P. 2° | 7,4 | 17,7 | 24,1* | - | - | 61,1 |
| Sans tubercule mère | | | | | | | | |
| JL | 22° | cst | 10,4 | 20,4 | 37,4 | - | - | 126,8 |
| JC | 22° | cst | 6,9 | 21,2 | 30,7 | - | - | 41,8 |
| JL | 22° | P. 2° | 11,3 | 18,6 | 21,3 | - | - | 117,0 |
| JC | 22° | P. 2° | 7,5 | 22,5 | 20,0 | - | - | 43,4 |

* indique le début de formation des ébauches

Tableau n° 16 - Résultats du 3e essai phytotron à la récolte le 6 Juillet 1972

| Traitements | Avec ou sans tubers. mère | Haut. fanes | Poids fanes | Nombre tiges | Nombre de gros tubers. | Nombre des ébauches | Nombre total de tubers. | Poids total tubers. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| JC 17° cst | Avec tubers. | 29,0 | 77,8 | 3,8 | 16,3 | 1,8 | 18,1 | 107,4 |
| JC passage 2° | Avec tubers. | 23,0 | 97,7 | 4,3 | 18,9 | 1,4 | 20,3 | 107,6 |
| JC 17° cst | Sans tubers. | 21,6 | 72,4 | 4,3 | 15,1 | 0,7 | 15,8 | 81,8 |
| JC 17° passage 2° | Sans tubers. | 34,9 | 75,9 | 3,4 | 17,4 | 1,3 | 18,7 | 58,3 |
| JL 17° cst | Avec tubers. | 99,8 | 375,4 | 6,4 | 12,2 | 3,0 | 15,2 | 94,0 |
| JL 17° passage 2° | Avec tubers. | 78,2 | 269,6 | 5,8 | 13,8 | 3,7 | 17,5 | 83,7 |
| JL 17° cst | Sans tubers. | 99,1 | 259,7 | 4,7 | 9,2 | 1,9 | 11,1 | 55,1 |
| JL 17° passage 2° | Sans tubers. | 61,4 | 222,2 | 5,4 | 12,9 | 3,0 | 15,9 | 91,4 |
| JC 22° cst | Avec tubers. | 56,2 | 62,2 | 3,8 | 12,7 | 0,7 | 13,4 | 76,5 |
| JC 22° Passage 2° | Avec tubers | 61,1 | 95,6 | 3,9 | 18,2 | 0,7 | 18,9 | 66,7 |
| JC 22° cst | Sans tubers. | 41,8 | 74,1 | 3,8 | 12,8 | 1,3 | 14,1 | 71,3 |
| JC 22° passage 2° | Sans tubers. | 43,4 | 90,2 | 4,6 | 17,7 | 0,6 | 18,3 | 63,4 |
| JL 22° cst | Avec tubers. | 143,6 | 318,2 | 3,9 | 2,1 | 0,2 | 2,3 | 6,9 |
| JL 22° passage 2° | Avec tubers. | 122,8 | 318,5 | 5,4 | 8,4 | 2,0 | 10,4 | 16,6 |
| JL 22° cst | Sans tubers. | 126,8 | 207,3 | 3,8 | 3,3 | 0,1 | 3,4 | 12,4 |
| JL 22° passage 2° | Sans tubers. | 117,0 | 188,3 | 4,1 | 8,0 | 2,4 | 10,4 | 9,8 |
| JC 12° cst | Avec tubers. | 32,1 | 147,6 | 5,3 | 20,6 | 6,2 | 26,8 | 119,7 |
| JC 12° passage 2° | Avec tubers. | 23,3 | 112,9 | 4,8 | 21,4 | 6,4 | 27,8 | 134,9 |
| JL 12° cst | Avec tubers. | 60,1 | 252,7 | 5,5 | 15,4 | 7,9 | 23,7 | 113,95 |
| JL 12° cst | Avec tubers. | 45,2 | 183,1 | 4,7 | 18,3 | 6,1 | 24,4 | 124,4 |

Sur le plan plus intéressant de la tubérisation, nous observons des résultats similaires à ceux obtenus lors du 2ème essai.

Les résultats figurent au tableau n° 16 et sur les graphiques n°26 à 28 . Une fois de plus, se trouve soulignée l'influence de la photopériode sur la tubérisation comme facteur prépondérant mais la température est au sein d'une même photopériode le facteur influant primordial quant au rendement et au nombre de tubercules formés. Cela apparaît de façon très claire sur les histogrammes.

Enfin, il apparaît que si l'on cumule les degrés reçus de nuit par les pommes de terre durant la phase d'induction, comme dans le 2ème essai phytotron, on trouve une relation linéaire de la forme ax + b, aussi bien en jour court qu'en jour long, mais avec une valeur très différente du coefficient angulaire des droites. Ceci se voit très facilement sur le graphique n° 29.

En fait, on a l'impression que le nombre de tubercules formés est corrélatif du nombre de degrés reçus de nuit et que, moins une plante reçoit de degrés de nuit, plus elle forme de tubercules, évidemment. jusqu'à un certain seuil qui reste à déterminer.

Si nous comparons les résultats obtenus au cours de nos trois essais en phytotron, nous constatons que la reproductibilité des expériences s'est révélée excellente aux variations près du matériel végétal utilisé. En effet, et je crois que trop d'auteurs oublient de le signaler dans leurs publications, le rôle du tubercule mère est fondamental, et selon son degré d'incubation, les résultats obtenus sont très différents sur le plan quantitatif. Néanmoins, l'action du froid a toujours été dans le même sens, que l'on parte de tubercules récoltés en août et plantés en octobre ou de tubercules récoltés en septembre et plantés en avril.

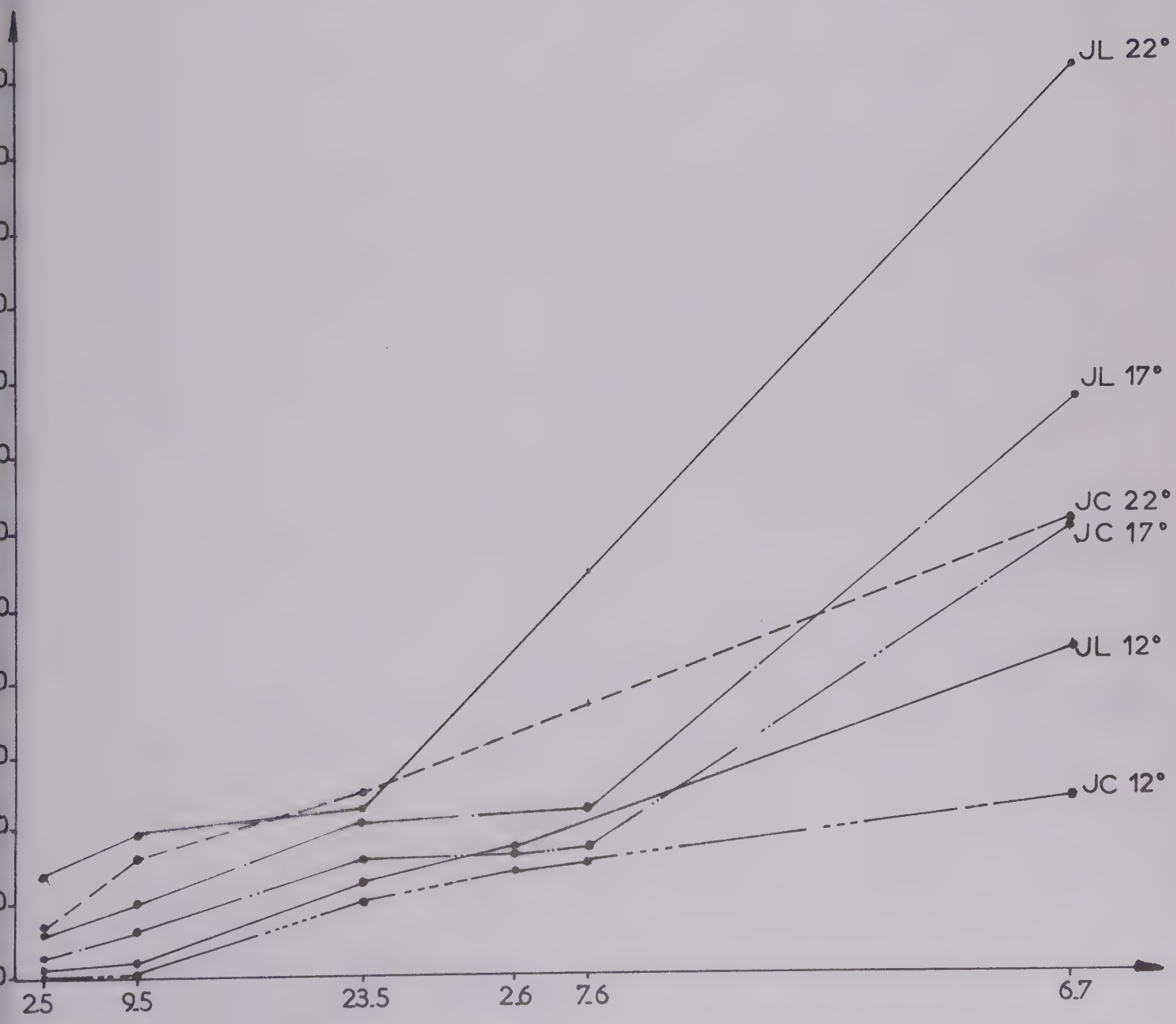
Par contre, si l'on considère l'action générale de la température sur le développement, les résultats diffèrent fortement selon que l'on a utilisé des tubercules jeunes, donnant presque aux plantes un comportement de bouture, ou des tubercules incubés. Nous observons, par exemple, une inhibition totale de la tubérisation à partir de 22° en jour long avec des tubercules jeunes, alors que nous avons formation de tubercules (2,3) avec des tubercules incubés. Nous avons confirmé les données de GREGORY, à savoir que ce sont les températures de nuit qui sont très importantes. En comparant des lots à 22° - 12° en alternance jour - nuit à 12° constants, les résultats sont similaires, bien que les sommes de températures reçues de jour soient différentes.

Graphique N°24

Croissance des fanes

Gif 3é Essai 1972

Passage à 2° pendant 14 jours
avec tubercule mère

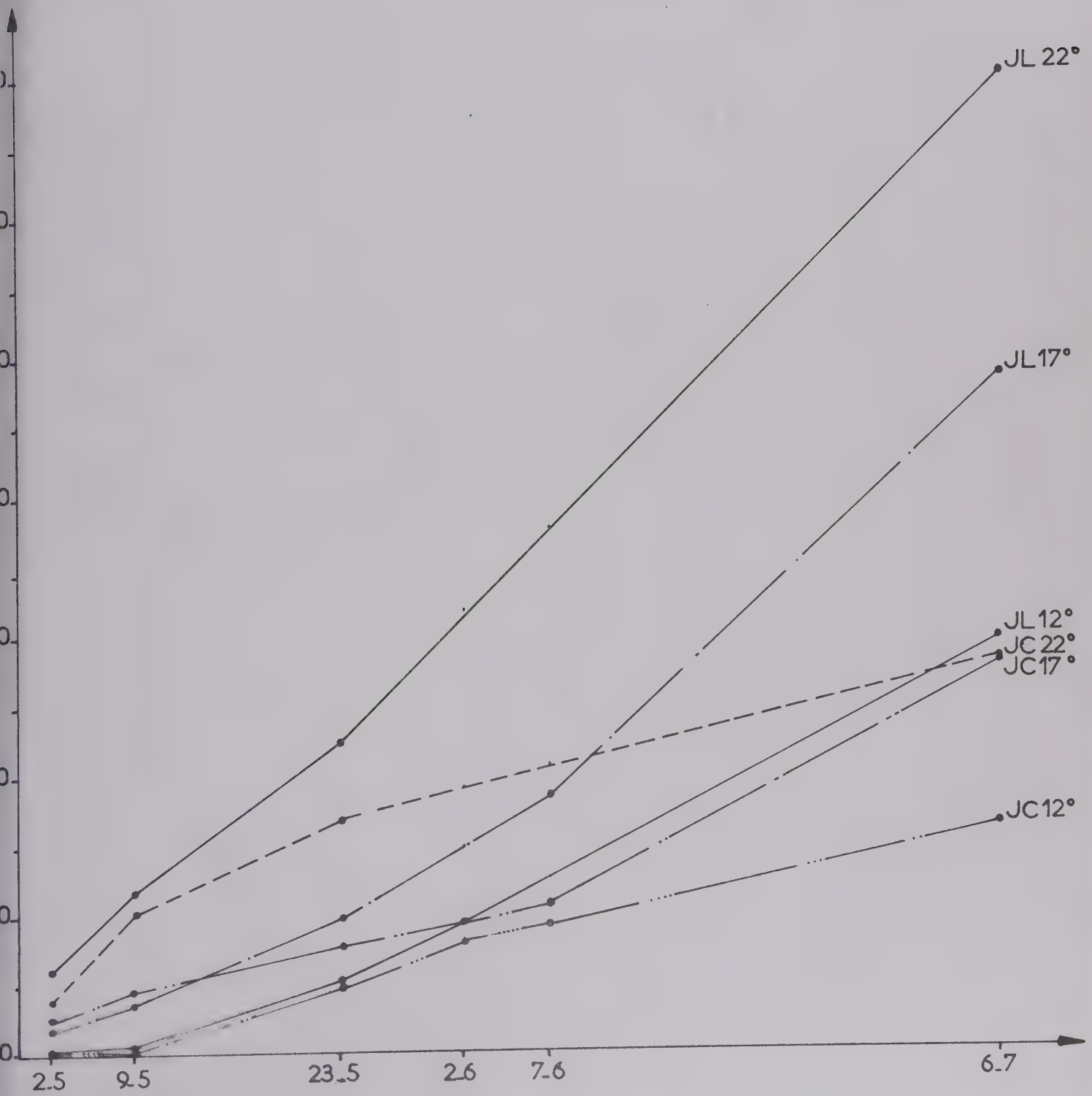


Graphique N°25

Gif 3é essai 1972

Croissance des fanes

à température constante et
avec tubercule mère



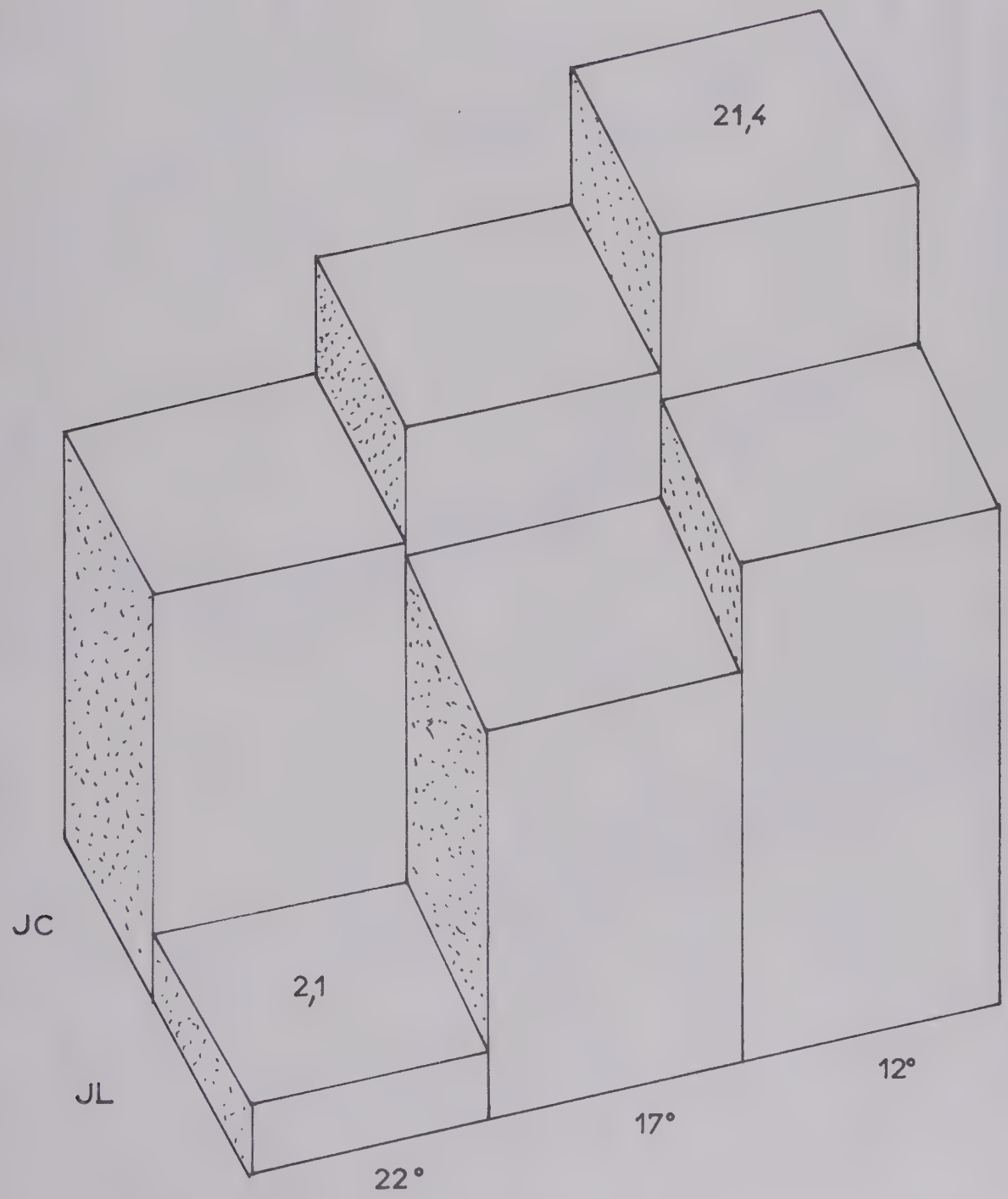
Graphique N°26

Gif 3é Essai 1972

Nombre de tubercules vrais formés

à température constante

avec tubercule mère

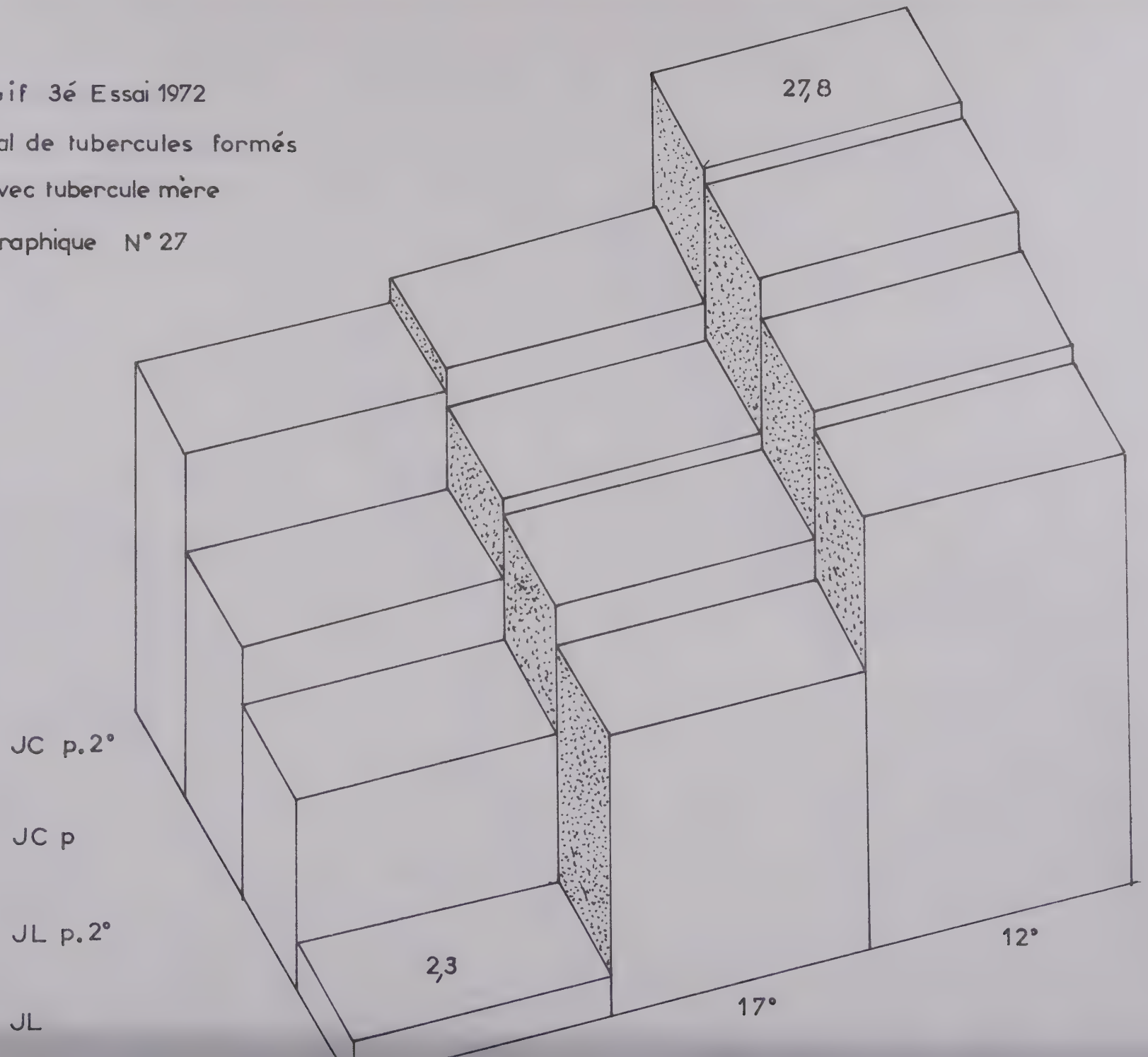


Gif 3é Essai 1972

Nombre total de tubercules formés

avec tubercule mère

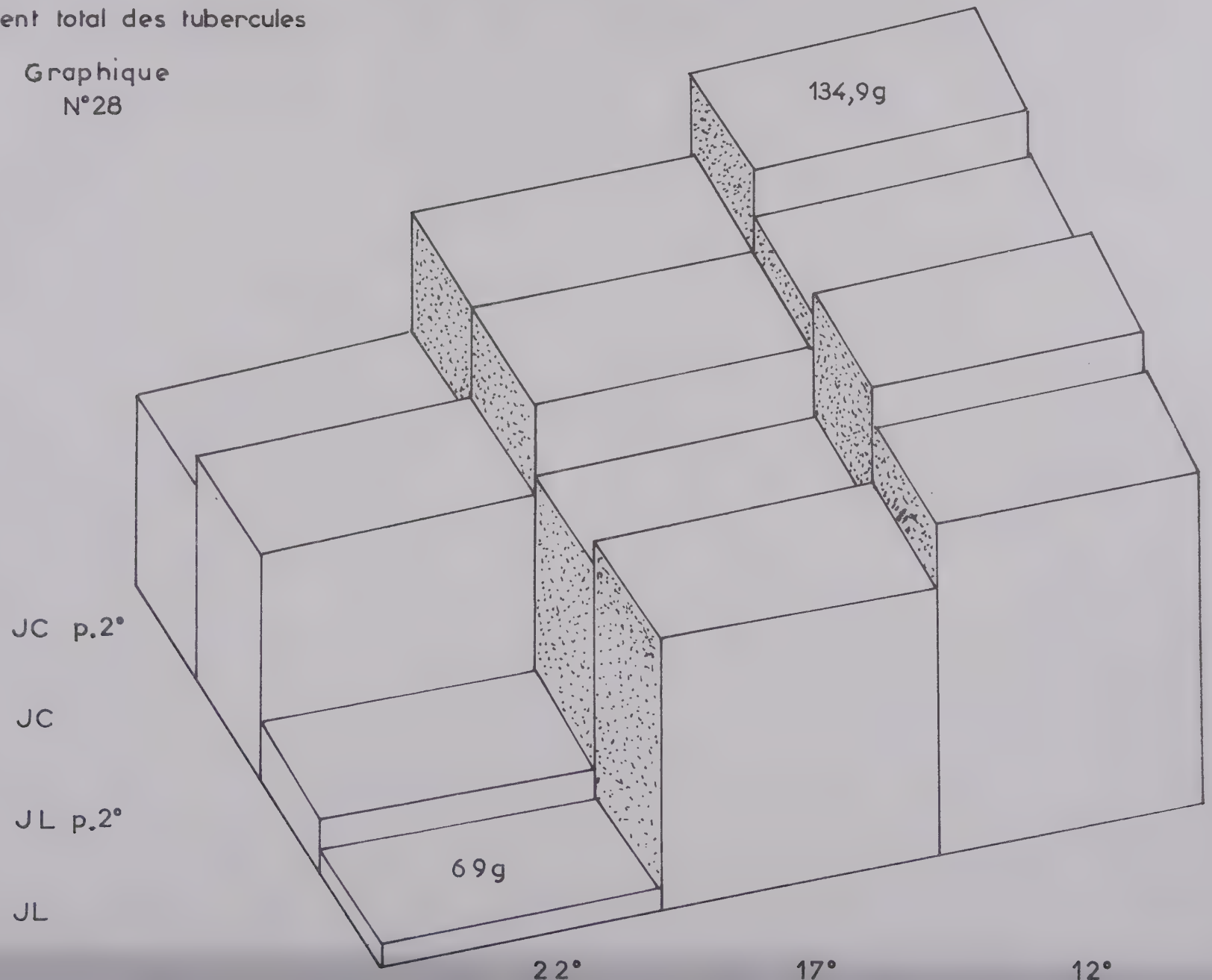
Graphique N° 27



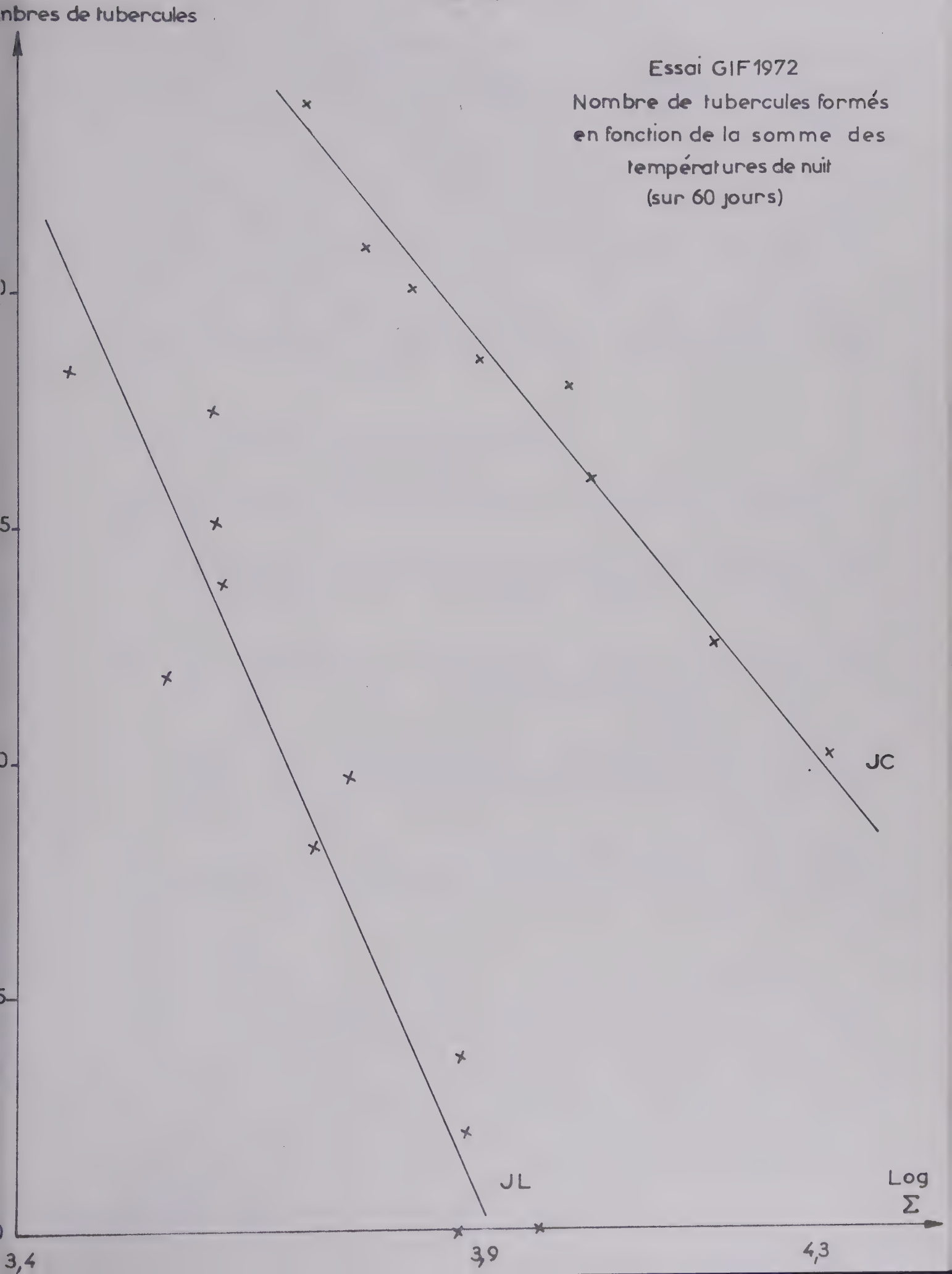
Gif 3éEssai 1972

Rendement total des tubercules

Graphique
N°28



Graphique N° 29



Le résultat le plus important que nous avons obtenu concerne l'influence très grande du passage à 2 ou 5° pendant deux semaines pour des plantes poussant à des températures supérieures à 12°. Dans tous les cas, ce choc thermique accroît de façon notable le nombre de tubercules formés, et très souvent, mais pas toujours, le poids de tubercules récoltés. La croissance durant le passage au froid est stoppée. Toutefois, il y a une variation très sensible de l'action de ce passage au froid en fonction de la température de croissance préalable des plantes. Nous avons une action plus marquée sur l'induction lorsque nous sommes à température élevée, 22° par exemple, que lorsque nous sommes à 12°.

Une autre observation importante dans nos essais concerne la réaction identique au froid des plantes, que l'on soit en jours longs ou en jours courts.

## CONCLUSION DES ESSAIS AU PHYTOTRON

Toutes nos expériences concordent pour avancer les opinions suivantes :

1 - Le nombre de tubercules formés est lié à une somme de températures reçues de nuit, quelles que soient les conditions de photopériode.

2 - Un choc thermique, dans le sens du froid, durant 10 à 14 jours favorise la formation d'un nombre plus grand de tubercules, aussi bien en jours longs qu'en jours courts.

3 - La croissance est pratiquement stoppée durant le passage au froid, mais repart ensuite sans jamais rattraper son retard sur les plantes restées à température normale. Le phénomène est plus sensible en jours longs qu'en jours courts.

4 - Le modèle théorique proposé correspond bien aux phénomènes observés dans la nature; nous discuterons ce point fondamental de notre travail dans la discussion générale de ce mémoire.

# CHAPITRE V

## DISCUSSION DES TRAVAUX MENES DE 1964 à 1972 SUR L'INFLUENCE DES FACONS CULTURALES SUR LA CROISSANCE ET LA TUBERISATION DES POMMES DE TERRE

### A - DISCUSSION DES RESULTATS PLEIN-CHAMP

Durant nos premières années d'essais nous avons sélectionné les produits sélectifs de la pomme de terre, notre choix s'est porté sur les urées substituées et notamment : le monolinuron, le linuron et le métobromuron. Nos travaux ont fortement contribué à l'obtention de l'autorisation de vente de ces produits; depuis d'ailleurs, quelques produits nouveaux sont venus s'ajouter à la liste des matières actives autorisées en désherbage des cultures de pomme de terre.
Mais très rapidement une question logique est apparue :

- Le fait de désherber chimiquement la pomme de terre peut-il permettre de supprimer les façons culturales traditionnelles c'est-à-dire : binages manuels ou mécaniques; buttages à la plantation et en cours de végétation ?

Cet aspect du désherbage chimique, entraînant la suppression des façons culturales dans la pomme de terre, a été discuté par de très nombreux auteurs : BURGHAUSEN, CROSNIER, EDDOWES, FRIESSLEBEN, HERVE, HOLMES, KOUWHENHOVEN, LONGCHAMP, NEEMAN, STEPHENS, TRUNKEN-BOLTZ, VEZ.

Ce dernier écrivait en 1967 :

> "Le problème est donc quelque peu plus complexe pour la culture de la pomme de terre que pour les autres cultures et mérite une étude approfondie dans les différentes conditions de cultures et de climat".

Nos études, déjà publiées, dans le cadre de COLUMA ou de l'European Potato Research, et ce travail que nous venons d'exposer doivent, nous pensons, permettre à l'agriculteur de faire un choix en connaissance de cause. Il suffit, à notre avis, de se placer du point de vue de la nature de la culture de la pomme de terre envisagée.

1/ Culture de primeurs

La récolte s'effectuant bien avant la maturité, on recherche un maximum de précocité et pas forcément un maximum de rendement.

Durant deux ans, nous avons implanté, dans diverses régions de France, des essais de cultures de primeurs en procédant à des arrachages échelonnés, afin de préciser le mode d'action des techniques mises en oeuvre sur la tubérisation. Les essais, à une exception près, ont été réalisés avec la variété Sirtema, et désherbés avec du monolinuron à 1 000 g ma/ha.

Trois techniques culturales ont été mises en oeuvre dans chaque lieu :

1 - culture à plat et désherbage chimique de pré-émergence;
2 - culture buttée à la plantation et désherbage chimique de pré-émergence;
3 - culture traditionnelle avec sarclage et buttage après la levée des pommes de terre.

Dans l'ensemble de ces essais, il se dégage un certain nombre de constatations pouvant amener à repenser la culture des primeurs sans buttage ni binage. En effet, en 1966 à Zurich et en 1969 à Brest, nous avions émis l'hypothèse que le désherbage chimique, en supprimant des façons culturales, pouvait favoriser la précocité de la tubérisation. Nous pouvons admettre que notre hypothèse était justifiée, puisque sur dix essais, la culture à plat s'est montrée sept fois la plus avantageuse par rapport à la culture traditionnelle soit en rendement, soit économiquement. Cela est d'autant plus vrai que les trois autres fois où la culture à plat ne se trouve pas en tête des essais, il s'agit de raisons bien précises qui ont favorisé les façons culturales :

- phytotoxicité des herbicides à cause d'une application après la levée
- compétition très vive de trois adventices non contrôlées par le monolinuron : mercurialis annua, fumaria officinalis, agropyrum repens.

Le problème est plus délicat pour faire un choix entre le buttage à la plantation et la culture à plat, car les différences ne sont jamais significatives. Dans sept essais, on trouve le buttage à la plantation situé de façon intermédiaire entre la culture à plat et les façons culturales classiques, et une fois en tête.
Sur un plan pratique, nous pouvons donc conseiller de ne plus effectuer de façons culturales après la plantation et le désherbage chimique et ce pour trois raisons essentielles :

- La première qui vient à l'esprit est l'action mutilante des outils aratoires sur la plante au niveau des racines et des feuilles de la base. Cela est d'ailleurs particulièrement vrai avec une variété comme Sirtema dont le système racinaire est fortement traçant, et, de ce fait, très meurtri par le buttoir qui coupe de nombreux stolons et racines. Or, nous avons montré (HERVE 1969) qu'une plante qui subissait l'ablation d'une partie de son système racinaire stoppait pratiquement sa croissance jusqu'à ce qu'elle ait reconstitué ce potentiel végétatif perdu lors des façons culturales.

- Une autre constatation que nous avons pu faire en observant les profils culturaux est la proximité beaucoup plus grande du tubercule mère de la surface du sol dans la culture à plat (10 cm contre 17 cm), d'où une sensibilité plus grande aux variations thermiques. Or, les températures de nuit sont plus basses dans la culture à plat que dans la culture buttée au moment de l'induction et, de ce fait, favorisent la tubérisation.

- Enfin, troisième aspect : le désherbage chimique enlève la concurrence dès la levée des pommes de terre et favorise ainsi la tubérisation en supprimant la compétition.

On peut donc admettre :

1 - que la dominance de la culture à plat sur le buttage à la plantation tient à la position du tubercule mère dans le sol et à l'effet température bénéfique qui en découle pour la tubérisation, les températures nocturnes étant souvent très basses à l'époque de l'année où l'on produit des primeurs en France.

2 - que la différence entre le buttage à la plantation et le buttage en végétation est liée aux blessures faites aux racines, ce qui décale le stade végétatif en faveur du buttage à la plantation. De plus, grâce au monolinuron, la concurrence des adventices est supprimée précocement dans le buttage à la plantation.

3 - que le contraste entre culture à plat et buttage en végétation se trouve être le plus accentué puisque l'on cumule les effets :

. blessures et concurrence des adventices, défavorables au buttage en végétation,
. choc thermique favorable à la culture à plat.

En conclusion, après deux années d'expérimentation très concordantes, quelles que soient les conditions de milieu, on peut définir, à notre sens, comme technique idéale des cultures de pomme de terre de primeurs : culture à plat avec utilisation d'un herbicide sélectif de pré-levée au spectre le plus large possible.

2/ Culture de plants

C'est dans ce type de production que le problème du choix d'une technique s'avère le plus délicat. En effet, c'est en culture de plants de pomme de terre que le désherbage chimique et l'absence de façons mécaniques présentent théoriquement le plus d'intérêt, à condition de ne pas dépasser une certaine date (début mai) pour planter. L'intérêt du désherbage chimique est double : destruction de plantes adventices dès le début de la végétation, diminution des passages dans la culture, donc réduction du risque de transmissions mécaniques de certains virus (R. J. STEPHENS). Mais, nos résultats d'essais (présentés au chapitre VIII en annexe) ont montré, que malgré une récolte avant maturité, le buttage en cours de végétation, lorsque les touffes ont 15 cm de hauteur, était la meilleure technique pour obtenir un maximum de poids.

Il faut toutefois remarquer que la répartition des calibres en pourcentage est identique quelle que soit la technique utilisée; cela revient à dire que ce sont les poids nets dans chaque calibre qui se trouvent augmentés par un buttage en cours de végétation et pas uniquement dans le calibre le plus grand.

Un des aspects importants à obtenir en culture de plants est un désherbage chimique parfait et ce pour plusieurs raisons :

- tout d'abord, la culture est défanée avant maturité, or la concurrence des adventices est très importante dès le départ de la végétation comme le montre l'essai de Saclay 1965 d'où l'intérêt d'un désherbage chimique de pré-émergence. Malheureusement, aucun produit n'assure un désherbage parfait notamment contre les adventices vivaces comme Agropyrum ou certaines annuelles comme Fumaria ou Mercurialis. C'est pourquoi un buttage en cours de végétation complète le désherbage chimique et permet à la pomme de terre de couvrir complètement le sol avant la levée de nouvelles adventices.

- en détruisant toutes les adventices, on supprime certaines plantes servant de "réservoirs à virus". Par contre, le buttage fait perdre un des avantages du désherbage chimique : la diminution de transmission de certains virus par voie mécanique.

  Néanmoins, avant la mise au point du désherbage chimique non seulement l'agriculteur buttait la culture, mais passait au moins deux fois manuellement sur la ligne pour tenir propre,; actuellement, sauf cas exceptionnel de flore résistante, seul le buttage est nécessaire.

Enfin , le buttage précoce diminue sensiblement le pourcentage de tubercules verdis ainsi que le nombre de tubercules mildiousés par rapport à une culture à plat. Or, l'état sanitaire de la semence est un critère fondamental et le buttage reste un excellent remède à ce problème.

3/ Culture de consommation

Comme nous l'avons montré, le rendement des pommes de terre desherbées mécaniquement dépasse toujours, en fin de végétation, le rendement des pommes de terre désherbées chimiquement. Une étude plus précise nous a montré que le LAI et le NAR, d'abord plus élevés après désherbage chimique, prennent, à partir de fin juillet, des valeurs supérieures sur parcelles désherbées mécaniquement.

Nous arrivons donc à un bilan photosynthétique plus avantageux, avec le travail du sol, à maturité des plantes. C'est pourquoi, nous préconisons dans ce cas de désherber chimiquement et d'effectuer un buttage correct lorsque les fanes ont 20 cm de hauteur afin de combiner les avantages du désherbage chimique et des façons culturales.

De plus, des essais complémentaires ont montré qu'il n'y avait pas de problème de sensibilité variétale aux principaux herbicides expérimentés et que d'autre part,comme nous l'avons déjà signalé pour le plant,le buttage diminue fortement dans une culture à cycle long, les risques de tubercules verdis et mildiousés et garantit de ce fait une récolte maximum et de qualité optimum.

## B - DISCUSSION DES ESSAIS EN CONDITIONS CONTROLEES

La totalité de nos essais, sur l'ensemble du territoire français nous a conduits à développer une technique pour les cultures de primeurs et une autre pour les cultures de plants et de consommation.Nous avons tenté, à chaque fois,d'expliquer les phénomènes observés, mais nous pensons possible la définition d'un modèle théorique du processus de tubérisation en culture.

Cette approche nous est fournie par les résultats obtenus en conditions contrôlées que nous avons réalisés en serres et surtout au phytotron de GIF-sur-YVETTE. Nous avons vu lors de l'étude bibliographique de la tubérisation que DRIVER et HAWKES en 1943 puis GREGORY en 1954 et enfin CHAPMAN en 1958 sont tous d'accord sur l'importance de la température comme facteur de la tubérisation. Ces auteurs pensent, notamment GREGORY, que la photopériode favorise la croissance et que la température favorise la formation des tubercules lors de l'induction.

En fait, on a l'impression que le nombre de tubercules formés est corrélatif du nombre de degrés reçus de nuit et que, moins une plante reçoit de degrés de nuit, plus elle forme de tubercules, évidemment, jusqu'à un certain seuil qui reste à déterminer. Une de nos expériences met bien en évidence la faible importance des températures de jour; il s'agit de la comparaison du lot à 22° - 12° en alternance jour / nuit avec le lot à 12° constant de jour comme de nuit, les résultats sont similaires bien que les sommes de températures reçues de jour soient différentes de 10° pendant 16 heures.

Ces travaux sont en contradiction avec ceux de PALMER qui conteste l'importance dominante de la température comme facteur de la tubérisation en suivant un raisonnement logique mais non biologique. Cet auteur démontre par des expériences in vitro, que les cytokinines sont les substances essentielles qu'il est nécessaire d'apporter à des germes pour les faire tubériser; or, comme les températures froides d'après son expérience inhibent la formation de kinétine dans la plante in vivo, la température ne peut pas jouer un rôle direct dans le phénomène de tubérisation. Pour notre part, nous avons simplement essayé de voir les variations qui se produisaient à la récolte dans des plantes ayant tubérisé et dans des plantes n'ayant pas tubérisé in vivo et non pas in vitro comme PALMER. Nous dirons, et cela reste à confirmer, qu'une plante qui tubérise à un niveau de substance du type I A A après 90 jours de végétation, très supérieur à celui d'une plante qui ne tubérise pas, que certainement l'équilibre avec l'acide gibbérellique présente une grande importance et surtout qu'une ou plusieurs autres substances existent de façon sous-jacente mais nous n'avons pu les mettre en évidence. Peut-être, selon PALMER, s'agit-il de la kinétine ou selon TIZIO de composés phénoliques, ou peut-être, et plus certainement à notre sens d'un certain équilibre "hormonal" entre toutes ces substances qui détermine l'état de tubérisation.

L'autre aspect très important mis en évidence est le rôle primordial des températures de nuit dans l'induction de la tubérisation. C'est là un des aspects non pris en considération par PALMER qui pose l'antagonisme A.G.x kinétine comme une des bases de la tubérisation, l' IAA n'étant pour lui, ainsi que les sucres solubles, que des éléments secondaires dans le processus de tubérisation. A ce niveau de la discussion les études de PALMER présentent une excellente synthèse de la question entre les interactions possibles de toutes les substances citées dans la littérature comme pouvant induire la tubérisation. En effet, AUNG 1969 et OKAZAWA 1967, ont montré de façon formelle que la quantité de gibberellines produite est moindre à basse température qu'à haute température, mais selon PALMER ce sont des températures de 20 à 25° qui représentent l'optimum pour induire la kinétine qui induira elle-même la tubérisation.

Or, en 1969, nous pensions que la photopériode pouvait être un des éléments essentiels des écarts observés en liaison avec les blessures faites aux plantes. Mais le raisonnement n'était pas entièrement satisfaisant et les essais primeurs nous ont progressivement amenés à repenser notre problème en terme de température.

Nous avons donc réalisé des relevés de températures dans les sols buttés et non buttés et notre surprise a été très grande de constater l'importance de l'influence d'une façon culturale sur la température du sol.

Nos travaux sur le sujet se recoupent d'ailleurs très bien avec ceux de VEZ 1971 qui observe une diminution de la température du sol de 0,5 à 1° C après labour de printemps par rapport à un labour d'automne dans les premières semaines qui ont suivi les semis de maïs.

Pour notre part, nous avons mis en évidence des écarts de température pouvant aller jusqu'à 3°5 en moins pour les parcelles buttées, durant les 10 jours qui suivent la façon culturale. L'autre phénomène important que nous avons observé est le plus grand écart de température entre les minima et les maxima dans les parcelles non travaillées après les 10 premiers jours environ qui suivent l'intervention mécanique. Cet écart s'accentue au fur et à mesure que la température s'élève ; cette augmentation du nombre de degrés reçus de jour, à un stade où l'ensemble des tubercules sont formés, ne semble pas accélérer la croissance mais au contraire la ralentir et avancer la maturité en inhibant légèrement le processus de prise de poids par les tubercules.

Tout au contraire, nos essais primeurs et de phytotron démontrent l'importance d'une certaine somme de températures froides reçue de nuit. Ces résultats vont dans le sens de ceux de GREGORY mais apportent des précisions sur les sommes de températures, et sur la notion d'optimum de tubérisation définie par cet auteur comme étant 17°. Nous avons en effet démontré l'inexactitude de cette donnée car elle est liée d'une part à la température de nuit mais aussi à la préparation du tubercule mère comme nous l'expliquons par ailleurs et, enfin, à la photopériode qui joue un rôle important à somme de températures égales, contrairement à la démonstration faite par GREGORY.

L'idée de notre protocole en phytotron nous est venue d'une constatation pratique. En effet, les cultures de primeurs se plantent, en France, selon les régions, entre janvier et mars, époques où les gelées peuvent être très fréquentes. Nous avons donc essayé de mimer ce phénomène en faisant passer, brutalement, des pommes de terre ayant 15-20 cm de hauteur à des basses températures de l'ordre

de 5 et 2° durant deux semaines. Puis, non moins brutalement, nous les avons remises à leur température de croissance de départ et nous avons observé à la récolte le poids et le nombre de tubercules formés ainsi que la hauteur des fanes.

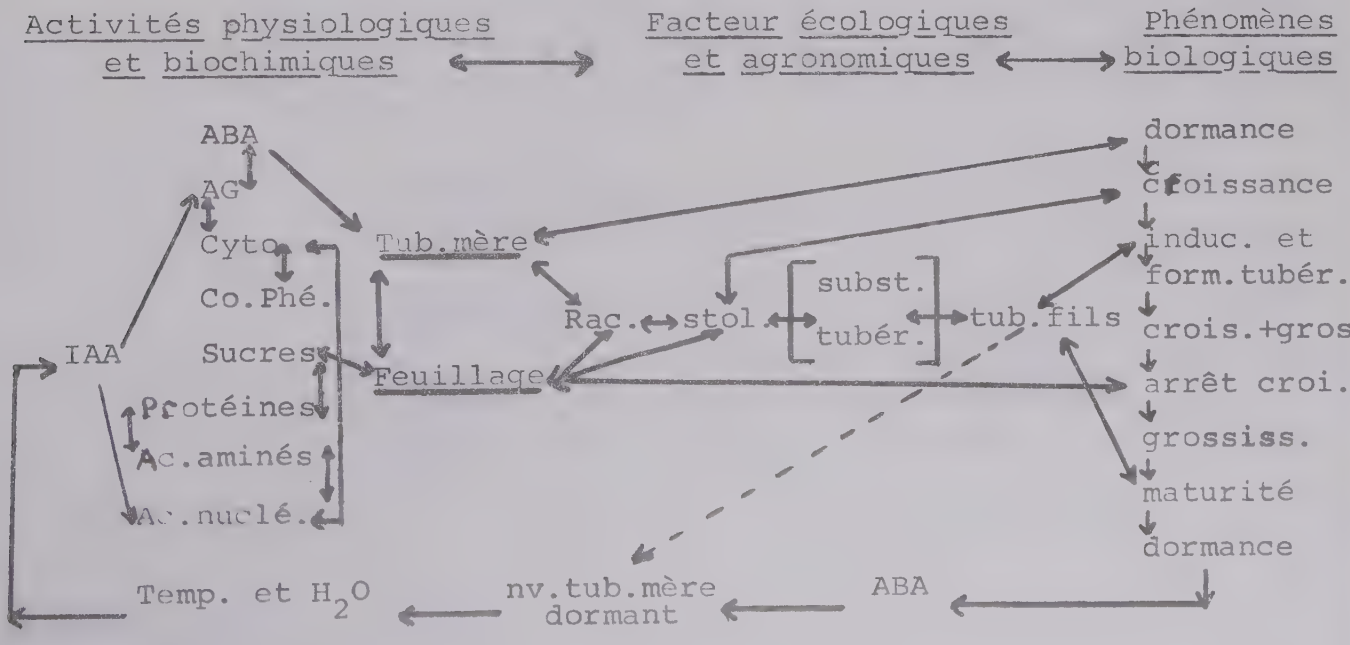
Des trois essais réalisés au phytotron, il resssort une bonne concordance des résultats, exceptées les fluctuations dues au matériel végétal. Les variations observées sont causées essentiellement par l'état du tubercule mère, c'est à dire son degré d'induction. L'action des températures froides a, dans toutes nos expériences, favorisé la formation d'un grand nombre de tubercules. Au contraire, les températures chaudes (22° - 27°) ont favorisé la croissance et réduit la tubérisation, celle-ci pouvant même être entièrement inhibée si on utilise des tubercules mères non incubés.

Un des résultats les plus intéressants que nous avons obtenus, concerne l'influence sur la tubérisation d'un abaissement important de la température durant 7 à 10 jours lorsque les fanes ont 15 cm de hauteur. Cette baisse de température induit systématiquement la formation d'un plus grand nombre de tubercules et réduit la croissance des fanes quelle que soit la photopériode.

Enfin, des trois hypothèses posées au chapitre II, il apparaît qu'aucune ne donne la composante principale des écarts de rendement observés dans les essais de pleins champs, mais que chacune a apporté sa contribution à l'explications des résultats obtenus. Les principales variables qui nous ont aidés à comprendre les phénomènes observés

sont ( la température du sol
( les blessures aux racines
( la croissance

Ces variables modifient le métabolisme et le catabolisme de la pomme de terre et, en fonction de nos résultats et de ceux de la littérature, nous serions enclins à donner à l'AIA un rôle privilégié non pas directement dans le processus de tubérisation mais dans les interactions avec les autres substances selon le schéma hypothétique suivant :



Ces considérations sont en contradiction avec celles de PALMER pour qui, in vitro, les basses températures ne peuvent pas induire la formation de tubercules sur les germes. Or, dans nos propres essais ce sont les basses températures qui induisent la tubérisation et les hautes températures qui l'inhibent, puisque, à 25°, avec des tubercules mères non induits, ou très faiblement, nous avons observé une absence totale de tubérisation. Par contre, nos quelques analyses montrent une forte interaction des substances les unes sur les autres et c'est sans doute là que se tient la clé du problème de l'induction de la tubérisation et donc du nombre de tubercules formés. De plus, les températures jouent essentiellement au niveau racinaire et nos résultats confirment les hypothèses de TIZIO qui parle du "facteur racinaire" comme base de tubérisation et de CHAPMAN (I958) qui a montré expérimentalement que c'est principalement la température du sol qui influe sur l'induction.

Un autre auteur, STAIKOV, en I970, démontre la corrélation entre le développement racinaire, la croissance des stolons et le développement foliaire de la plante.

Si nous reprenons tous ces éléments pour expliquer nos propres résultats :

A - En culture de primeurs l'effet température est, nous pensons, l'élément essentiel du plus grand nombre de tubercules formés ;

B - En culture de consommation les données sont plus complexes mais nous estimons que les choses se déroulent de la manière suivante :

- le buttage amène un arrêt de végétation des plantes à la suite des blessures occasionnées par les outils aratoires qui ont sectionné de nombreuses racines et parfois des stolons. De plus, ce buttage comme nous l'avons montré, a une action directe sur la température du sol et apporte un refroidissement de 1 à 3,5 degrés pour une température moyenne extérieure de IO à I5 °. Ces différences peuvent sans doute varier plus amplement au cas où les températures seraient plus chaudes ou plus froides. Nous avons donc une possibilité d'induction améliorée à la fois sur les parcelles buttées par :

  1 - le refroidissement après buttage, phénomène lié sans doute au problème d'évaporation de l'eau ;

  2 - la diminution du système racinaire, qui en stoppant la croissance, favorise la tubérisation par l'antagonisme croissance-tubérisation. Mai aussi, comme MADEC et PERENNEC l'ont montré, par le fait qu'un volume racinaire réduit favorise la vitesse et la qualité de l'induction.

3 - la croissance qui reprend une quinzaine de jours après le buttage, sous des températures généralement plus chaudes et avec une photopériode légèrement améliorée. Ces conditions favorisent la croissance et permettent ainsi un volume foliaire plus important (LAI favorable) d'où un bilan photosynthétique optimum (NAR plus avantageux pour les percelles buttées) facteur essentiel du rendement.

Le modèle que nous venons de définir se déroule ainsi dans 75 % des cas, mais il reste 20 % de cas où le bilan est nul et 5 % de cas défavorables. Nous pouvons maintenant expliquer pourquoi le buttage n'a pas toujours une action positive sur le rendement. Les différences observées tiennent à la température du sol au moment du buttage et dans les 20 à 30 jours qui suivent. Comme nous l'avons démontré, les températures de nuit sont déterminantes dans l'induction, et, si l'air extérieur est chaud, le sol travaillé se réchauffera plus vite ce dernier étant meilleur conducteur que le sol non travaillé. Selon l'élévation plus ou moins importante de la température, on obtiendra des effets d'intensité différents sur l'induction. A la limite, et c'est sans doute ce qui se passe dans les 5 % de cas apparemment illogiques que nous avons obtenus en plein champ , au lieu d'une baisse de température pendant IO à I4 jours, nous avons au contraire une élévation de température défavorable à l'induction. Dans cette hypothèse, la baisse de température ne doit durer, au maximum, que 48 heures, c'est-à-dire le temps de l'évaporation de l'eau du sol, libérée par le buttage, puis on passe immédiatement à un réchauffement. Le temps d'induction étant d'environ 14 jours à I7° selon GREGORY, nous n'obtenons pas l'action favorable de la température sur l'induction, mais au contraire un effet néfaste, l'induction se réalisant en condition plus chaude que dans le sol non travaillé.

# C O N C L U S I O N

- O -

L'ensemble de ce travail a permis à l'Institut Technique de la Pomme de terre de préconiser une amélioration de la culture de la pomme de terre. Cette amélioration est vulgarisée et appliquée dans une grande partie des 400.000 hectares de pommes de terre cultivés en France et permet en général au producteur un gain de rendement ou de précocité appréciable sans un investissement supplémentaire comparativement à ce qu'il pratiquait précédemment.
Le coût du désherbage chimique est maintenant équivalent au prix de revient du désherbage mécanique et à plus forte raison au désherbage manuel encore pratiqué en culture de plants et de primeurs sur la ligne de plantation en complément du buttage;
le risque d'obtenir, par notre technique, un rendement inférieur est au maximum de l'ordre de 5 % et cet écart de rendement n'est d'ailleurs jamais significatif en terme de probabilités mathématiques.

Nous pensons donc que le désherbage chimique à la plantation, suivi d'un buttage lorsque les fanes ont 15 à 20 cm, constitue la meilleure technique en culture de consommation.

En culture de primeurs, la culture à plat avec désherbage chimique à la plantation constituerait la meilleure technique pour obtenir une tubérisation précoce avec un meilleur rendement si les machines à récolter étaient adaptées à travailler sur sol plat. Afin d'éviter cet ennui et du fait que la plupart des planteuses effectuent à la plantation un buttage, nous préconisons donc de réaliser un léger buttage à la plantation avec désherbage chimique sans aucun buttage complémentaire avant récolte.

Nous avons de plus :

- précisé quant aux phénomènes de tubérisation l'importance des températures de nuit;

- retrouvé comme beaucoup d'auteurs la difficulté à expliquer le processus biochimique de la tubérisation qui est à notre avis un problème d'interactions entre diverses substances (IAA, A.gibbérelliques, cytokinines, composés phénoliques, ABA),

- montré que l'induction est déclenchée par la réception d'une certaine somme de froid et reste néanmoins favorisée par les jours courts ;

- démontré le faible apport des fonctions de croissance à l'explication des phénomènes biologiques et agronomiques. Grâce à ce travail, nous avons participé de façon importante à la mise au point des désherbants chimiques de la pomme de terre actuellement autorisés à la vente en France, et constaté que la pomme de terre n'est une plante nettoyante que si elle est désherbée. En effet, sa sensibilité, dès le stade de la différenciation des tubercules aux adventices, est très grande et peut abaisser le rendement de plus de 50 %.

- mis en évidence l'absence de sensibilité variétale de la pomme de terre aux désherbants actuels mais la grande sensibilité variétale aux façons culturales. Enfin, nous avons confirmé le rôle du tubercule mère sur le phénomène de tubérisation et l'importance de la date de plantation sur la formation du rendement final.

# BIBLIOGRAPHIE

ALVAHL PERRY - L'avenir du marché de la pomme de terre
La Pomme de Terre Française. 1969, 331, 19-23.

AMME K. - Contribution à l'étude des traitements herbicides de pré-émergence sur les pommes de terre de semence
Weed Abstracts . 1966, réf. 1481, 15, 516.

BLACKMAN G.E. and WILSON G.L. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment, Ann Bot. 1951, 15, 63-94 et 373-408.

BLACKMAN G.E. Influence of light and temperature on leaf growth
The growth of leaves. 1956, Ed. Butterworths London, 151-169.

BLACKMAN V.H. The compound interest law and plant growth.
Ann. Bot. 1919, 33, 353-360.

BODLAENDER K.B.A. Influence of temperature radiation and photoperiod on development and yield
The growth of potatoe, - Ed Butterwoths, London 1963, 199 à 210.

BODLAENDER K.B.A. - Influence of temperature during growth of seed tubers on their seed value. 5th triennal conference E.A. P.R. Norwich 1972.

BOUCHET R.J. et ROBELIN M.R. - Evapotranspiration potentielle et réelle. Domaine d'utilisation. Portée pratique.
Bull. Techn. d'Inform. 1969, 238, 215-223.

BRIGGS G.E. KIDD F. WEST C. - A quantitative analysis of plant growth. Part I et II.
Ann. Appl. Biol , 1920, 7, 103-202.

BURGHAUSEN R. Uber den einfluss von Umswelt bedingungen auf die wir bung von chemischen
Pflanzenschutzmitteln, Symposium du 1 au 3 octobre 1962, Magdebourg, 127-134.

BURGHAUSEN R. Effets et perspectives de la lutte chimique contre les mauvaises herbes dans les cultures de pommes de terre.
Wissensch 2. Friedrich Schiller Université JENA, 1963

BURGHAUSEN R. Essai de lutte contre les mauvaises herbes dans les cultures de pommes de terre à l'aide des dérivés de la triazine, 1963.

CHAPMAN H.W. Tuberization in the potatoe plant.
Physiologia Plantarum, 1958, 11, 215-224.

CHARNAY D. et COURDUROUX J.C. Acide abscissique et tubérisation in vitro de bourgeons de topinambour.
Helianthus tuberosus L. var. D.19 . C.R. Acad.Sci. Ser. D, 1972, 275, 21,2351-2354.

CHARTIER P. Etude théorique de l'assimilation brute de la feuille.
Ann. Physiol. Vég. 8, 1966, 3, 167-196.

CHOUDURI H.C. et RAY A.M. Désherbage chimique des pommes de terre dans le Bengale occidental.
American Potato, 1964, J.41, 4, 117-22.

COOMBE D. An analysis of the growth of Treme guineensis.
J. of Ecol, 1960, 48, 219-231.

COSTES C. Absorption et utilisation de l'énergie lumineuse par les végétaux cultivés dans les conditions naturelles.
Ann. Physiol. Vég. 1960, 3, 175-229.

COX. T.I. ELLIOT J.G. Développement d'herbicides pour pommes de terre. Intérêt du désherbage chimique Weed Research Juin 1965, 5,2, 158-168.

CRAMER H.H. La protection des plantes et les récoltes dans le monde.
Planzenschutz Nachrichten "Bayer". 1967, I, 170-225.

CROSNIER J.C. JOUBERT J. Importance de l'évolution des germes au moment de la plantation.
La Pomme de Terre Française, 1967, 318, 11-14.

CROSNIER J.C. La culture de la pomme de terre en 1975. La Pomme de Terre Française, 1967, 318, 34-37.

CURTICAPEANU Le contenu en acide gibbérellique endogène des tubercules de pomme de terre à l'état de repos et durant la germination. Physiologia Plantarum Romaniae, 1970, tome 3, 12, 89.

DAYAL MEHRA GAJRAJA Standardisation of the leaf index method for the potato. 1972, Tome I, 15, 71.

DEMOLON A. Croissance des végétaux cultivés , 1950, I-II, 477. Ed. Dunod 196I.

DODDS K.S. L'évolution des pommes de terre cultivées. Endeavour, 1966, XXV, 95, 83-89.

DUCET - DIANO DEMIS Purification de la cytochrome oxydase des mitochondries du tubercule de pomme de terre. C.R. Acad. Sciences Série D - 1970, tome 270, 19, 2289.

DUCHAUFOUR Précis de pédologie, 1965, 1, Ed. Masson.

DRURYRE Interaction of plant hormones. Abscissic and Gibbérellics acids "Science" T.168, 1970, 3933, 875.

EDDOWES M. Désherbage chimique des pommes de terre. Journal of Agricultural Science, 1966, 67, 2.

ENGEL K.H. RAENBER A. Das allometrische Wachstum der Kartoffel Zeitschr. Pflanzenz, 1962, 47, 114-119.

EVANS G.C. HUGUES A.P. Plant growth and the aerial environment Parts II & III. The New Phytologist, 1962, 61, 154-174 et 322-327.

EVANS G.C. HUGUES A.P. Plant growth and the aerial environment Part. I The New phytologist, 1961, 60, 150-180.

FEYERABEND G. Influence des herbicides sur le labour des cultures de pommes de terre. (Bulg-al) "Utilisation d'herbicides en agriculture". Sofia. I2-vo. Belgarskoj Akademii Mank, 1970, 41-46

FISCHER A. Résultats préliminaires sur de nouveaux dérivés de l'urée et leurs mélanges. Action de ces produits sur pommes de terre
Meded Lawdbouwhogesch opzsckingsstus Gent 29, 1964, 3, 719-33.

FRIESSLEBEN Buttage et hersage des pommes de terre: action à combiner ou à séparer.
Agrartechnik 15(5), 1965, 230-245.

GALSTON A.W. Studies on indoleacetic acid oxidase and its inhibition in lightgrown peas.
Plant Physiol. 1957, 32,XXI.

GASPAR Th. XHAUFFLAIRE A. Effect of kinetin on growth, auxin catabolism, peroxidase and catalase activities.
Planta, 1967, 72, 252.

GIRARD A. Recherches sur la culture de la pomme de terre industrielle.
Ed. Gauthier-Villars, 1889, Mémoire de 144 pages.

GREGORY L.E. Physiology of tuberization in plants (tubers and roots).
Encyclopedia of Plant Physiology, 1965, XV, 1, 1328-1354.

GREGORY L.E. Some factors of tuberization in the potatoe plant
Am. J. Botany, 1956, 43, 281-288.

GREGORY F.G. The effect of climatic conditions on the growth of barley.
Ann. Bot.40, 1926, 1-26.

GREGORY F.G. Physiological conditions in Cucumber house
Exp. Res. Stat. Cheshunt, 1918, 3rd ann. rep. 19.

GRISOLLE J.P. La connaissance des besoins en eau des cultures et sa diffusion aux irrigants.
Bull. Techn. d'Inform. 238, 1969, 249-256.

GUERN J. Remarques à propos des méthodes d'extraction de purification et d'identification des inhibiteurs de croissance.
Colloque international du C.N.R.S. Paris. 1965.

HAMPSON C.P. et HATTON J. Herbicides, usage ou maincrop potatoes in Great Britain.
Proc. 9th Brit. Weed Control Conf, 1968, 2, 557-561

HARADA H. NITSCH J.P. Isolation of gibbérellines $A^6$, $A^3$, $A^9$ and of a fourth growth substance from Althaea rosea, Phyto-chemistry, 1967, 6, 1695-1703.

HARADA H. NITSCH J.P. Isolement et propriétés physiologiques d'une substance de montaison 1961, An. Physiol. Vég. 3, 193-308.

HÄRTEL K. Situation et perspectives de lutte contre les mauvaises herbes avec les méthoxy urées dans les cultures de pommes de terre. Problème des résidus.
Seventh British Weed Control conference, 1964, 2, 441-449.

HEMBERG The action of some cytokinines on the rest-period and the contact of acid growth inhibiting substances in potato.
Physiologia Plantarum, 1970, tome 4, 23, 850-858.

HENIN S., FEODOROFF A., GRAS R., MONIER G. Le profil cultural.
Société d'Etudes des Ingénieurs Agricoles, Paris, 1960, 320 p.

HENIN S. Le rôle tampon du sol et ses effets vis à vis du climat CR hebdo. Académie Agriculture de France. N°spécial minéralogie et Agricculture n° 15 - 1972, 1251.

HERVE J.J. Désherbage chimique ou façons culturales
La Pomme de Terre Française, 1967, 319, 16-19.

HERVE J.J., BOURDIN J., CROSNIER J.C., RECAMIER A., TRUKENBOLTZ M.
Résultats d'essais sur désherbage chimique des pommes de terre C.R. Journées d'Etudes sur les Herbicides, 4è Conf. du COLUMA, Versailles, 1967, 291-309.

HERVE J.J., CROSNIER J.C., TRUNKENBOLTZ M. Façons culturales et désherbage chimique.
Third Triennal Conference of E.A.P.R. Zurich 1966.

HERVE J.J. Le problème des façons culturales dans la culture de la pomme de terre. C.R. 4ème Conf. trisann. Ass. europ. Rech. sur la Pomme de terre. Brest Sept. 1969, 130-131, 1970.

HERVE J.J. Influence de la température sur la croissance et la tubérisation des pommes de terre.
5th Triennal Conf E.A.P.R. Norwich 1972.

HERVE J.J. - CROSNIER J.C. Influence des techniques culturales sur la tubérisation des pommes de terre de primeurs.
5th triennal Conf. of E.A.P.R. Norwich 1972.

HOLMES J.C. The effects of cultivations, herbicides and weed control on potatoes.
Experimental Husbandry, 14 , 75-82. - 1966

HRUSKA L. et POPPER J. A study of the influence of the morphoregulating CCC preparative on the growth of potatoes.
Acta Univ. Agric., Fac. Agron.,1970, 18, 1, 23-34.

HRUSKA L. et POPPER J. Application of CCC and B 995 in tuber-indexing methods with potatoes - A c t a
Univ. Agric. Fac. Agron. 1970, 18,2, 233-240.

HUXLEY J.S. Problems of relative growth. Ed Methuen, London, 1932, 276.

ITO H. et KATO J. The phy'siological foundation of tuber formation of tubers in potato.
Tohoku J. Agri. Res. 2, 1951, 1-14.

IWAKI H. The influence of density on the matter production of Fagopyrum esculentum jap.
Journ. Bot. 16, 1958, 210-226.

JOLIVET E. Métabolisme des acides organiques et des acides aminés libres dans le tubercule de pomme de terre au cours de la rupture provoquée de son repos végétatif par la "Rindite".
Physiol. vég. 1971, 9, 2, 311-325.

KHAN A.A. HEIT C.E. Discovery of a new role for cytokine in seed dormancy and germination.
Search agriculture, 1971, 1, t. 9.

KONSTANTINOW K. Changement dans les techniques de travail du sol dans les cultures de pommes de terre, par l'utilisation d'herbicides.
"Utilisation d'herbicides en agriculture" Sofia iz-vo Bolgarskoj Akademï Mank, 1970, 193-201.

KOUWENHOVEN J.K. Recent development in potato ridging on marine soils in the Netherlands.
European Potato Journal, 1967, 10, 4, 257-271.

KRUGH H. et WIESE W. Influence de l'humidité sur le développement et la croissance de la pomme de terre. Solanum tuberosum). Potato Res. 1972, 15, 4, 354-364.

KVET J., ONDOK J.P. The Significance of biomass duration.An integral value of the dry weight of biomass during a time interval.
Photosynthetica tome 5, 1971, 4, 417-420.

LABORIE M.E. Contribution à l'étude des actions de la gibbérelline et du chlorure de chlorocholine sur le métabolisme des pigments foliaires.
Ann. Physiol. Végét. 1963, 5, n° 1.

LAGARDE P. Influence de la température sur la tubérisation du Crôsne du Japon non dormant.
Physiologie végétale 1971, 3, 9, 401.

LAGARDE TORT Influence de la température sur l'induction, l'explicitation et l'élimination de la dormance et de la tubérisation chez le crôsne.
Dispause et dormance. Colloque de Clermont-Ferrand Mai 1971,3.

LAGARDE J. Influence des différentes thermophoto-périodes sur la dormance du Crôsne du Japon.
C.R. Acad. Sci, Ser. D, 1970, 270, 24, 2950-2953.

LEFEVRE J. Sur la présence normale d'acide indolique et particulièrement de l'acide indolique 3. acétique dans diverses plantes supérieures;
C.R. Acad. Sciences 1938, 906, 1875.

LEME Précis de biogéographie.
Ed. Masson Paris.

LENARD Influence de la température sur la croissance et le développement de la tulipe
Sciences, 1971, Tome II - 2, 87.

LESHEM Y. Abcissic and as a ribonuclease promoter.
Phys. Plantarum 24, 1971, 85-89.

LHOSTE J. Les possibilités d'utilisation des herbicides dans les cultures.
Colloque Herbicides et Techniques de cultures , Versailles, 1969, 11

LONGCHAMP R. Les herbicides et la suppression des binages, éclaicissages, buttages, repiquages.
Colloque "Herbicides et Techniques de Cultures", Versailles, 11 et 12 février 1969, 25.

MADEC et PERENNEC P. Le rôle respectif du feuillage et du tubercule mère dans la tubérisation de la pomme de terre. Europ Potatoe J.,1959, 2, 22-49.

Les relations entre l'induction de la tubérisation et la croissance chez la plante de pomme de terre. Ann. Physiol. Vég. 1962, 4, 5-84.

MADEC P. Le rôle du tubercule mère dans l'évolution des germes de pomme de terre.
Ann. Am. Pl. 1958, 8, 15-26.

MADEC P. Croissance et tubérisation chez la pomme de terre.
Bull. Soc. Franç. & Physiol. Vég. 1966, 12, 159-173.

MES M.G. and MENGE G. Potato shoot and tuber cultures in vitro.
Physiol.Pl, 1954, 7, 637-649.

MICHIELS L. Contribution à l'étude de l'action inhibitrice du rayonnement gamma sur la croissance des germes du tubercule de la pomme de terre.
Thèse d'université, Paris, 1967, 140.

MILTHORPE F.L. Some aspects of plant growth.
The growth of potato, 1963, 3-16. Ed. Butterworths, London.

MILTHORPE F.G. The growth of potatoe.
3rd trien. Conf. of the E.A.P.R. Zurich, 1966, 4.

MONIER G. Les objectifs des techniques culturales : problème posé par leur choix et l'appréciation de leur action.
Colloque "Herbicides et Techniques Culturales", 1969, 11 et 12 février Versailles, 19

MONOT .G, HERVE J.J., TRUNKENBOLTZ M. et Col: Le désherbage chimique des pommes de terre,
3ème Conf. du COLUMA, Paris, 1965, 379-427.

MOSIN V., SHAFRONOV O. Le système racinaire et le rendement des pommes de terre
Zemledelic, 1968, I, 44-45.

MOZHAEVA K.A., KUZ'MIN Z.E. Les particularités de la composition chimique des tubercules de la pomme de terre récoltés à différentes dates.
Doulady Akademii Sel'snokhozyaistennykh Nank, 1966, Lénine 7, 20-21.

MUNSTER J. Variation de la teneur en amidon et la qualité organoleptique de la pomme de terre en fonction de la durée de croissance.
Revue Suisse Agric. 1971, 3,2, 27-29.

NEEMAN M. Façons culturales et déherbage chimique dans la culture de la pomme de terre.
Irish Journal of Agri. Research, 1966, 5, n° 1, 103-111.

NELSON N. Dosage des sucres
Journal of Biol. Chem., 1944, 153, 375-380.

NECAS J. Développements et résultats des travaux du Laboratoire de Physiologie Végétale.
Vedece Prace Vyskumneho Ustave Bramborarskiho v. Havlickove, Brode, 1963, 61-81.

NECAS J. Application of growth analysis to potatoes in field Culture.
Biologica Plantarum, 1965, 7, 180-193.

NECAS J. ZRUST J. Le régime d'eau de la pomme de terre.
Rostlinna Vyroba, 1965, 6, 641-656.

NECAS J. Growth analysis as a method applied for the evaluating of the productivity of potatoes in the forming of the biological and economic yield
Vedecke Vyz Kumneho Ustavu Bramborars Keho v. Havlickove Brode, 1966, 3, 33-57.

NICHIPOROVITCH Photosynthèse et théorie pour l'augmentation des rendements.
Timirjazeuskie utenija, Moscou, 1956, XV.

NITSCH J.P. Methods for the investigation of natural auxins and growth inhibitors 1955, in "The chemistry and mode of action of plant growth substances", 1956 London, Butterworths scientific publications.

NITSCH J.P., NITSCH C. Activité de quelques composés indoliques sur le test mésocotyle, Bull. Soc. Bot. France, 1958, 105, 482-490.

NITSCH J.P., NITSCH C.. Modification du métabolisme auxinique par l'acide gibbérellique. Bull. Soc. Franç. de Physiologie végétale, 1959, 5, 20-23.

NITSCH J.P., NITSCH C. Studies on the growth of coleoptile and first internode sections. A new sensitive straight growth test for auxins.
Plant Physiology, 1956, 31, 91-111.

NITSCH J.P., LANCE, NOUGAREDE A. L'action conjuguée des auxines et des cytokinines sur les cellules de moelle de tabac. Etude physiologique et microscopique électronique. Bull. Soc. Franç. de Physiologie Végét. 1967, 13, 81-118.

ONDOK J.P. KVET J. Integral and differential formules in growth analyses. Photosynthetica 1971, 4, 5, 358-363.

OKAZAWA Physiological studies on the tuberization of potatoes plants. Jour. Facult. Agri. Hokkaido Sapporo, 1967, 55, 3.

OKAZAWA Physiological studies on the mechanism of tuberization of potato plants . Proc. Crop. Sc. Soc. Japan 23, 1955, 247-248.

PALMER Hormonal control of tuberization in solanum tuberosum. Diss. Abstr. inter. Série B, 1970, 30, 10, 4441.

PALMER C.E. Hormonal control of tuberization in solanum tuberosum L. University of California Riverside Ph. D. 1969, Agriculture général, 1970, 110.

PALMER C.E., SMITH O.E. Effect of kinetin on tuber formation on isolated stolons of solanum tuberosum L. cultured in vitro.
Plant and Cell. Physiologie, 1970, 11, 2, 303.

PARCEVAUX (S.de) Transpiration végétale et production de matière sèche. Essai d'interprétation en fonction des facteurs du milieu.
L'eau et la production végétale, Ed. INRA, 1964, 63-151.

PAULET P, LIORET C., La néoformation de bourgeons chez Nicotiana; sensibilité aux composés phénoliques externes, insensibilité aux composés phénoliques internes. Les phytohormones et l'organogènèse.
Congrès et Colloques de l'Université de Liège, 1965, 38, 342.

PAUPARDIN C., TIZIO R. Action de la quercétine sur la tubérisation de germes de pomme de terre cultivés in vitro.
C.R. Acad. Sc. Paris, Série D, 1969, 269, 1410-1411.

PEQUIGNOT R. Plantes sarclées - la pomme de terre.
Techniques agricoles, 1965, fasc. 2080-2083, Ed. Techniques, Paris.

PERENNEC P. , CROSNIER J.C. Action d'un traitement des plants de pomme de terre par l'acide gibbérellique sur le rendement et la répartition dans la récolte des tubercules de divers calibres. Pomme de terre française, 1971, 33, n° 343, 21-34.

PFEIFFER R.K., PHILLIPS J.D. Usage expérimental de triazine pour le contrôle des mauvaises herbes dans les pommes de terre en Angleterre.
Seventh British Weed Control Conference, 1964, 2, 411-22.

PILET P.E., GASPAR Th. Le catabolisme auxinique. Ed. Masson, 1968, 148 pages.

PILET P.E., GASPAR Th . Etude comparée du cathéchol, du résorcinol, et de l'hydroquinone. Ann. de Physiolog. Végét. 1967, 9 (4) 369-375.

PONT LEZICA R.F. Evolution des substances de type gibbérellines chez la pomme de terre pendant la tubérisation, en relation avec la longueur du jour et la température.
Potato Res. 1970, 13, 4, 323-331.

RADFORD P.J. Growth Analysis Formulae. Their use and abuse Crop Science, 1967, 7, n° 3, 171-175.

RECAMIER A. Les herbicides et les possibilités de suppression du labour. Colloque "Herbicides et Techniques Culturales" 1969, 11 et 12/2 Versailles, 26

REYNOLDS T. A new method for separation of gibbérellines and growth inhibitors in plant extraits using sephadex columns. Journal of Experimental Botany, 1970, 68, 21, 703.

RIOUX R. COMEAU J.E. Contrôle des mauvaises herbes et méthodes de culture sur les pommes de terre. Res. Rept. Can. Weed. Comm. East Sect. 16.114. 1971.

ROSE H. Histoire de la pomme de terre Rothschild, Paris, 1898.

ROZIER Croissance foliaire, photosynthèse et caractères du tubercule de semence chez la pomme de terre. Physiologie végétale, 1970, 4, 8, 613-639.

ROZIER, VINOT C. Quelques aspects du métabolisme des plants de pomme de terre issus de gros et de petits tubercules de semence. Potato Res. 1972, 15, 41-53.

SESTAK Z. CATSKY J. JARVIS P.G., JUNK N.V. Plant Photosynthetic Production. Publishers. The Hague - 1971, 343-391.

SCHNEE M. Une contribution à l'emploi des herbicides dans les cultures de pomme de terre. 1963. Z Landwirtsh Versuchs u. Unters Wes. Dtsch. 9. 6. 592 - 593.

SCOTT R.K. CLAYTON G.S. Chemical manipulation of the growth of the potato. University of Nottingham report of the school of agriculture, 1970, 61.

SHIHD C.Y. RAPPAPORT Regulation of bud rest in tubers of potato Plant Physiology, 1971, I, 48, 31-35.

SINGH G. Influence of ethrel on growth and yield of potatoes Research in the Life Sci. (Maine) 1970,18, I, 38-43

SHOTTON FE. Recherches sur l'usage des herbicides sur pommes de terre . Seventh British Weed Control Conference 1964, 2, 494-503.

SKOOG F. ARESTROMG DJ Cytokinines, Ann. Rev of plant Physiol. 1970, 21, 359-384.

SLATER J.W. Mechanisms of tuber initiation The growth of potatoe, Ed Butterwords, London, 1963, 114-120.

SMITH PALMER Cytokinin. Induced tuber formation on stolons of Solanum tuberosum.
Physiologia Plantarum, 1970, 3, 23, 599-606.

STAIKOV G. On the growth of the root system, germs and stems of potatoes and the relationship between them.
Compt. Acad. Sciences Agri. in Bulgarie, 1970, 2, 3, 117.

STALLKNECHT Coumarin induced tuber formation on exised shoots of solanum tuberosum cultured in vitro.
Plant Physiol. 50 n° 3, 1972, 412-413.

STEPHENS R.J. La place des herbicides dans la culture de la pomme de terre.
Europ Potato J. Netherl, 1965, 8 n°1, 33-51.

TIZIO R. - PAUPARDIN C. Action de quelques composés phénoliques et de diverses gibbérellines sur la tubérisation de germes de pommes de terre cultivés in vitro.
"Les cultures de tissus de plantes"-Strasbourg. 6-10 juillet 1970. Coll. internat. CNRS 1971, 193, 209-213.

TURGEON R. et WEBB J.A. Growth inhibition by mechanical stress.
Science, 1971, 174, 40/2, 961-962.

UBRIZSY G., GIMESI A. Expérience de lutte chimique contre les mauvaises herbes dans les plantes sarclées.
Intern. Z. Landwirtsch Dtsch 1971, 6, 712-718.

VAN FLEET D.S. The enzymatic and vitagen properties of unsaturated fats as they influence the différenciation of certain plant tissue.
Amer. J. Bot. 1943, 30, 678.

VEZ .A. - Influence des méthodes de préparation du sol sur le développement de la pomme de terre et la facilité des travaux de récolte.
Réunion du groupe agronomique de l'EAPR St-CERGUE 1971.
- Que penser du hersage des cultures de pommes de terre avant la levée? Revue suisse d'Agric. Février 1970, II, 1.

WATSON O.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops.
Ann. Bot. 1947, 11, 375-407.

WHITEHEAD F., MYERCOUGH P.J. Growth analysis of plants.
The new phytologist, 1962, 61, 314-321.

WILLIAMS R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate
Ann. Bot. 1946, 10, 41,72.